



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN

Título del proyecto:

EVALUACIÓN RADIOELÉCTRICA DE SENSORES BASADOS EN TENOLOGÍA BLUETOOTH PARA ENTORNOS INTERIORES

Pablo Jiménez Rived

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 16 de Septiembre de 2010



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA
E.T.S.I.I. y de Telecomunicación
Campus de Arrosadía s/n
31006-Pamplona Navarra-Spain
Tfno: 34-48-169000 Fax: 34-48-169169



Acta de Proyecto Final de Carrera

Título:

“Evaluación radioeléctrica de sensores basados en tecnología Bluetooth para entornos interiores”

Alumno:

Pablo Jiménez Rived

Tutor del Proyecto:

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Reunido el tribunal, compuesto por los siguientes miembros,

Presidente,

Secretario,

Vocal 1º,

Fdo:.....

Fdo:.....

Fdo:.....

acuerda otorgar la calificación de

Pamplona,de.....de 20.....

RESUMEN

Partiendo de un análisis de la tecnología Bluetooth se pretende en este proyecto evaluar el comportamiento de este tipo de señal en distintos entornos interiores. El campo elegido para evaluar esta tecnología inalámbrica es el ámbito de la telemedicina.

La telemedicina es un tema muy de actualidad y en constante desarrollo consecuente con los avances tecnológicos. El interés suscitado en la Universidad ha llevado a desarrollar varias investigaciones sobre el tema. Una de sus contribuciones ha sido el dispositivo Holtin, un dispositivo electrónico diseñado para monitorizar señales cardiacas y trasmitirlas vía bluetooth a un terminal móvil que las reenvíe al servidor de un hospital al que tengan acceso los especialistas.

Se evalúan varios recintos para determinar la cobertura que ofrece el dispositivo Holtin pretendiendo simular entornos cotidianos que se encontraría un portador del aparato.

ABSTRACT

After a first analysis of the Bluetooth technology, this Project tries to evaluate the performance of this kind of signal in different indoor scenarios. The field chosen to evaluate this wireless technology is the telemedicine one.

Telemedicine is a very topical subject and it is in continuous development, being always consequent with technologies advance. The interest caused in this University finished doing several investigations in this field. One of its contributions was the Holtin device, it is an electronic device designed for visualizing the cardiac signals and transmit them to a mobile phone by Bluetooth. The mobile transmits the signals to the server of a hospital. Specialists will have access to the information.

Several environments are studied to determinate the coverage offered by the Holtin. These different environments aim to simulate typical rooms that the carrier of the Holtin finds in his everyday life.

AGRADECIMIENTOS

Muchas han sido las personas que me han ayudado y apoyado durante la realización de este proyecto e incluso se han involucrado personalmente, a todos ellos gracias de corazón.

Mención especial a mi padre y a mi madre ya que sin ellos no habría sido posible. Gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 OBJETIVO	9
2. ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1 LOS ORIGENES DE BLUETOOTH	11
2.2 LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH	13
2.2.1 EXPANSION DE ESPECTRO	15
2.2.2 ENLACE VIA RADIO	19
2.2.3 ORIENTACION AL TRABAJO EN RED	21
2.3 TOPOLOGÍA BLUETOOTH.....	28
2.4 PROTOCOLOS BLUETOOTH.....	31
2.4.1 Radio Bluetooth (RF)	32
2.4.2 Banda Base (BaseBand)	33
2.4.3 LMP: Link Manager Protocol	37
2.4.4 L2CAP: Logical Link Control and adaption Protocol.....	37
2.4.5 SDP: Service Discovery Protocol	41
2.4.6 RFCOMM	44
2.6 SEGURIDAD EN BLUETOOTH	47
2.7 Perfiles Bluetooth.....	51
2.7.1 Perfil de acceso genérico. (GAP).....	52
2.7.2 Perfil de Aplicación del Descubrimiento de Servicio (SDAP).....	52
2.7.3 Perfil de Puerto Serie. (SPP)	52
2.7.4 Perfil genérico de intercambio de objetos. (GOEP)	52
2.7.5 Perfil de Teléfono Inalámbrico.	52
2.7.6 Perfil de Intercomunicación. (IP)	53
2.7.7 Perfil de acceso telefónico a redes o perfil de networking de marcación (DNP)	53
2.7.8 Perfil de FAX.(FP).....	53
2.7.9 Perfil de Manos Libres o de casco telefónico.	53
2.7.10 Perfil de Acceso a LAN.(LAP).....	53
2.7.11 Perfil de Transferencia de Archivos.	53
2.7.12 Perfil de Transferencia de Objetos	53
2.7.13 Perfil de Sincronización.	54
2.8 APLICACIONES BLUETOOTH	55
2.8.1 Aplicaciones	55
2.8.2 Presentaciones.....	55
2.8.3 Escaneado de tarjetas	55
2.8.4 Trabajo en grupo.....	56
2.8.5 Sincronización de datos.....	56
2.8.6 Sincronización remota.....	57

2.8.7 Impresión.....	57
2.8.8 Sistemas incorporados en automóviles	57
2.8.9 Plataformas de comunicación	58
2.8.10 Libros electrónicos	58
2.8.11 Viajes	59
2.8.12 Entretenimiento doméstico	59
2.8.13 Sistemas de pago	60
2.8.14 Escáneres	60
2.8.15 Imposición de comportamientos	60
2.8.16 Comercio electrónico móvil.....	61
2.9 MODELOS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES	64
2.9.1 Modelos de propagación en redes inalámbricas.....	65
2.9.2 Modelos de propagación interiores.....	65
3. EVALUACION DE	76
RESULTADOS	76
3.1 Método de medida.....	77
3.2 Material de medida	78
3.3 Escenarios	83
3.3.1 PASILLO PRINCIPAL PLANTA BAJA EDIFICIO DE LOS TEJOS	84
3.3.2 PASILLO SECUNDARIO ENTRE DESPACHOS	85
3.3.3 LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIÓN	86
3.3.4 DESPACHO DE INVESTIGADORES	87
3.4 RESULTADOS	88
3.4.1 Gráficos del pasillo principal de los Tejos.	88
3.4.2 Gráficos de las medidas en el pasillo estrecho.....	91
3.4.3 Gráficos del laboratorio de radiocomunicaciones.....	94
3.4.4 Gráficos del despacho de investigadores.....	97
4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	102
4.1 CONCLUSIONES	103
4.2 LÍNEAS FUTURAS	104
ANEXOS	105
ANEXO I Publicación de trabajo en congreso Nacional: URSI 2010	
105	
ANEXO II Hojas de especificaciones	109
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	113
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	115
LISTA DE ACRÓNIMOS	117

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

1.1 INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas han evolucionado rápidamente en los últimos años.

Conforme evoluciona la tecnología van surgiendo distintas aplicaciones de uso que provocan grandes cambios en la vida diaria de las personas.

La tecnología bluetooth es un tipo de comunicación inalámbrica de área personal que facilita las comunicaciones entre distintos dispositivos a cortas distancias. En el campo de la telemedicina tiene muchas opciones que se están adoptando suponiendo mejoras en la calidad del servicio médico.

APLICACIONES SANITARIAS

Dentro de las múltiples aplicaciones de la tecnología bluetooth, cabe hacer un apartado centrado en las aplicaciones sanitarias. El dispositivo analizado en este proyecto tiene su uso destinado al ámbito sanitario.

Comunicación entre equipos

En los hospitales, Bluetooth representa otra alternativa interesante para que ciertos equipos se comuniquen en un ambiente donde, dependiendo de las necesidades de los pacientes, la instrumentación se encuentra en constante movimiento. Bluetooth puede eliminar parte del cableado entre equipos en los quirófanos permitiendo mayor movilidad a los cirujanos y equipos que les acompañan. Se expone la foto de un estetoscopio con bluetooth y memoria así se permite enviar la información al ordenador y analizar la señal si se desea o pedir segundas opiniones.



Figura 1.1. Esteroscopio con bluetooth y memoria

El tratamiento de pacientes desde casa

Los continuos avances científicos han hecho aumentar paulatinamente la esperanza de vida en los últimos años. Este aumento supone una parte importante del gasto sanitario y es uno de los principales causantes de las congestiones existentes hoy en día en el sistema nacional de salud, por generar una demanda de asistencia no gestionada cada vez más importante. Según los últimos datos, los enfermos crónicos suponen ya el 80% de las consultas en los hospitales.

Distintos grupos de investigación trabajan en el diseño de herramientas para el control de pacientes por medio de tecnología bluetooth que permita realizar un seguimiento a los enfermos de los hospitales, quienes también podrán enviar sus historiales clínicos mediante estos sistemas. La tecnología inalámbrica elimina los cables que requiere la monitorización de un paciente y envía dichos datos a un médico.

A pacientes de tipo crónico o crítico que debían estar bajo supervisión constante o conectados a máquinas la tecnología bluetooth les supone un cambio en su forma de vida. Se produce un ahorro en tiempo en recursos y mejora su calidad de vida. El paciente deberá portar un dispositivo que permita monitorizar distinto tipo de señales vitales, según casos, enviando señales bluetooth podrá comunicar con un teléfono móvil que alerte al personal indicado en caso de anomalías. Esto mejora las tecnologías de comunicación inalámbrica ya existentes que alertaban a personal sanitario en caso de problemas. Al monitorizar la señal enseguida se diagnostica el problema y la actuación es más rápida, precisa y eficaz. No se alerta de que hay complicaciones sino que se alerta de cual es la complicación.

La diferencia con las teleconsultas actuales radica en que las tecnologías inalámbricas, por coste, consumo, tamaño y prestaciones pueden integrarse fácilmente en dispositivos o instrumental básico de medida de parámetros relacionados con la salud y el bienestar.

Enfermedades cardiovasculares

El número de fallecimientos por enfermedades de este tipo en todo el mundo es una de las tres principales causas de fallecimiento. Es importante que personas que hayan sufrido algún episodio cardíaco o con riesgo a ello tengan controladas sus señales cardíacas. Para facilitar esto existen dispositivos que colocados en el pecho del paciente almacenan información, la monitorizan por pantalla y la envían a un médico supervisor. Este es el tipo de dispositivo cuya cobertura ha sido analizada en este proyecto: el dispositivo Holtin. Sirve para diagnosticar arritmias cardiacas de los pacientes sin necesidad de hacer un ingreso en un hospital. El mecanismo que utiliza permite a los especialistas médicos acceder al estudio del ritmo cardiaco del paciente mientras este desarrolla su vida cotidiana, el dispositivo registra datos y los transmite vía bluetooth.

El HOLTIN consiste en un servicio de tele-monitorización por eventos llevable e inalámbrico para el control de la señal de electrocardiograma (ECG) en pacientes con enfermedades cardiovasculares que precisan monitorización para ser diagnosticados. Se trata de un dispositivo llevable de ultra bajo consumo encargado de la adquisición, procesado, detección y almacenamiento de eventos cardíacos y su transmisión a un teléfono móvil, utilizando tecnología Bluetooth. El Gateway (un teléfono móvil) es el encargado de la recepción y almacenamiento de los eventos cardiacos y su posterior envío al centro receptor de datos, instalado en el Hospital, a través de red GPRS/UMTS.



Figura 1.2. Monitor Holter conectado a un paciente

El Holtin podrá ser utilizado por pacientes de ambos sexos y de todos los grupos de edad con problemas cardiacos que requieran monitorización continua. El dispositivo electrónico se coloca en el pecho mediante unos electrodos adhesivos convencionales, envía estos mediante conexión bluetooth a un teléfono móvil y este al centro receptor de datos del hospital correspondiente.

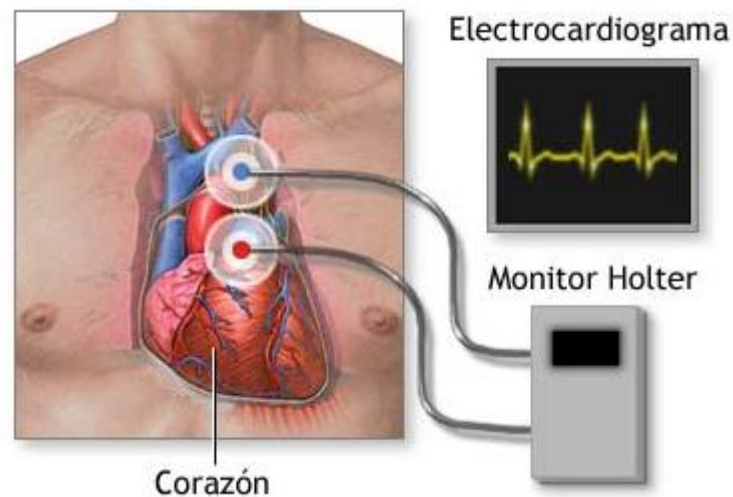


Figura 1.3. Esquema de monitorización de señales ECG

Enfermedades metabólicas

La diabetes es una enfermedad que a datos de hace tres años afecta a más de 240 millones de personas en todo el mundo y se espera que este número aumente en los años venideros. La tecnología también tiene aplicaciones para ayudar al tratamiento de esta enfermedad. Dentro de esta, el bluetooth también hace una importante contribución. En el mercado se puede encontrar una bomba de insulina con bluetooth. La bomba de insulina tiene un medidor de glucosa sirve de mando a distancia vía bluetooth para la bomba.



Figura 1.4. Beneficiario de la bomba de insulina

La interacción entre las componentes permite a los pacientes con diabetes tipo 1 llevar una terapia más discreta y cómoda, evitando pincharse insulina varias veces al día. La diabetes tipo 1, se caracteriza por provocar en el paciente una destrucción selectiva de las células beta del páncreas, causando una deficiencia absoluta de

insulina. En este sentido, el objetivo de las bombas de insulina o sistemas de infusión subcutánea continua es administrar insulina imitando al páncreas sano, disminuyendo hipoglucemias y aumentando la independencia y la calidad de vida de las personas con diabetes. La tecnología bluetooth es de doble dirección entre la bomba de insulina y el medidor de glucosa permite controlar a distancia el funcionamiento de esta y administrar dosis de insulina más rápida y discretamente. De este modo el paciente no necesita acceder a la microinfusora para ver su estado, esto garantiza una completa discreción del tratamiento.



Figura 1.5. Glucometro digital con tecnología bluetooth

Centros Hospitalarios y Centros de Investigación

Como en muchos otros sectores, en el sector sanitario, distintos equipos humanos se asocian con el fin de mejorar la calidad de sus servicios. Los equipos de desarrollo e investigación suelen pertenecer a Universidades. Se comenta a continuación algunos casos en el ámbito nacional e internacional.

Wireless Galicia es una iniciativa formada por el Complejo Hospitalario Universitario Juan Canalejo, y el grupo GTI de la ETSE de Telecomunicación de la Universidad de Vigo. Uno de sus proyectos es el desarrollo de un sistema bluetooth para el seguimiento domiciliario de parámetros médicos. La solución que plantearon para este proyecto consistía en la autogestión tutorizada de las enfermedades crónicas. Siendo el paciente el encargado de realizar las tareas de seguimiento de su enfermedad. Los datos de estos seguimientos serán enviados de manera automática al servidor del hospital para su posterior análisis. El paciente utiliza los dispositivos de monitorización que envían la información de forma autónoma al dispositivo móvil. La responsabilidad del paciente se limita a la utilización del dispositivo de monitorización.

En la Universidad de Aalborg (Dinamarca), también tienen un departamento de ciencia y tecnología de la salud que investiga para el campo de la telemedicina. Un de

sus estudios trata de la seguridad y privacidad en los sistemas de control médico inalámbricos que utilizan GSM/GPRS y BLUETOOTH. Para esta investigación monitorizaron las ECGs de quince personas sin riesgos cardiacos durante 72h. Se transfieren anónimamente asignando a cada paciente un número de identificación. Los datos se transmiten y procesan por un servidor del hospital que requiere un usuario y contraseña conocidos por el personal del centro.

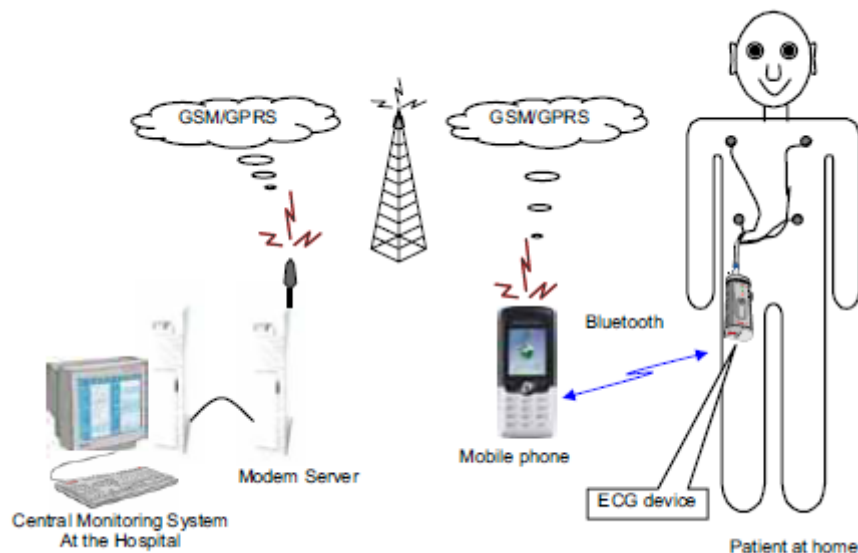


Figura 1.6. Sistema de comunicación entre paciente y hospital

Tras el estudio se determinó que los datos ECG son seguros y que la privacidad de los pacientes está garantizada. Por lo menos de momento ya que las aplicaciones y dispositivos médicos de este tipo se fabrican a pequeña escala.

Como estos ejemplos mostrados existen cientos. La mayoría de los centros sanitarios cuenta con un departamento de telemedicina involucrado en estos estudios, que a su vez son ayudados por grupos de investigación de las universidades. En ello la tecnología Bluetooth toma un papel importante que se puede aprovechar muy positivamente.

1.2 OBJETIVO

El objeto de este proyecto es analizar el funcionamiento de sensores bluetooth en base a cálculos de cobertura. Concretamente se analiza el dispositivo Holtin, diseñado en la Universidad Pública de Navarra. Se pretende evaluar el alcance del dispositivo en distintas situaciones recreadas de las que podría encontrarse en situaciones normales.

Para ello se toman datos de potencia recibida, sensibilidad y ubicación del sensor. El estudio se centra en experimentar en distintos entornos interiores.

2. ESTADO DEL ARTE

REDES DE ÁREA PERSONAL

Uno de los objetivos comunes compartidos por el IEEE y el SIG Bluetooth es impulsar el uso de las redes de área personal (PAN, Personal Area Networks) inalámbricas. El grupo de trabajo 82.15 del IEEE tiene como punto de mira la creación de estándares que proporcionen la base para un amplio rango de dispositivos de consumo interoperables, estableciendo estándares universalmente aceptados para las comunicaciones digitales inalámbricas.

El objetivo del grupo de trabajo 802.15 es crear un estándar de consenso que tenga amplias aplicaciones en el mercado y resuelva de forma eficaz el tema de la coexistencia con otras soluciones de red inalámbricas. Mientras que las tecnologías LAN inalámbricas de IEEE 802.11 han sido diseñadas específicamente para dispositivos que se hallen dentro o en los alrededores de la oficina o el hogar, los dispositivos que utilicen redes PAN inalámbricas IEEE 802.15 y la tecnología inalámbrica Bluetooth podrán ser usados en cualquier país por personas viajando en coches aviones y barcos.

2.1 LOS ORIGENES DE BLUETOOTH

En 1994, Ericsson Mobile Communications, la compañía global de telecomunicaciones con base en Suecia, comenzó un estudio para investigar la viabilidad de una interfaz de radio de baja potencia y bajo coste entre teléfonos móviles y sus accesorios.

El objetivo del estudio era hallar una forma de eliminar los cables entre teléfonos móviles y tarjetas PC-Card, auriculares y otros dispositivos. El estudio era parte de un proyecto más amplio que investigaba cómo diferentes dispositivos de comunicaciones se podrían conectar a la red celular a través de teléfono móvil. La compañía determinó que el último enlace de ese tipo de conexión debería ser un enlace de radio de corto alcance. A medida que progresaba el proyecto, se hizo evidente que las aplicaciones de un enlace de radio de corto alcance eran virtualmente ilimitadas.

El trabajo de Ericsson en esta área atrajo la atención de IBM, Intel, Nokia y Toshiba. Estas compañías formaron el SIG Bluetooth en mayo de 1998, grupo que había aumentado a más de 1.500 compañías en abril de 2000, más rápido que el crecimiento de cualquier otro consorcio inalámbrico. Las compañías desarrollaron conjuntamente la especificación Bluetooth 1.0, que vio la luz en julio de 1999. La especificación consiste en dos documentos: el núcleo fundamental, que proporciona las directrices para interoperabilidad. El documento de núcleo especifica componentes tales como la radio, la banda base, el gestor de enlace, el protocolo de descubrimiento de servicios, el nivel de transporte y la interoperabilidad con diferentes protocolos y procedimientos requeridos para los distintos tipos de aplicaciones Bluetooth.

A las cinco compañías fundadoras del SIG Bluetooth se les unieron 3Com, Lucent, Microsoft y Motorola para formar el llamado “grupo de promotores”. El objetivo del grupo de promotores es dirigir los esfuerzos del SIG Bluetooth, creando un fórum para mejorar la especificación Bluetooth y proporcionando un mecanismo para las pruebas de interoperabilidad.

¿De dónde viene el nombre?

Los ingenieros de Ericsson denominaron Bluetooth a la nueva tecnología inalámbrica para honrar a un rey vikingo danés del siglo X. Harald Bluetooth reinó desde 940 a 985 y se le atribuye no solo la unificación de ese país, sino también la adopción del cristianismo.

En esa época, los daneses vivían en pequeñas comunidades bajo la autoridad de jefes locales, algunos de los cuales aterrorizaron las ciudades costeras de Europa con sus incursiones piratas vikingas para conseguir esclavos y botín. Durante siglos, los daneses habían venerado a los dioses Thor y Odin. A medida que el cristianismo dominaba Europa, la lucha entre cristianos y paganos se extendió por las áreas ocupadas por los daneses.

La historia dice que Harald era el hijo del rey Gora el Viejo de Dinamarca y de Thyra, que se decía que era la hija de un noble inglés. Cuando llevaba unos 25 años de reinado, el sacerdote alemán Poppo impresionó a Harald sujetando una pieza de

metal al rojo vivo con sus manos desnudas sin producirse ninguna herida. Poppo explicó que su fe en Dios le protegía, lo que convenció a Harald de los poderes del cristianismo. La aceptación del cristianismo por el rey Harald y su subsiguiente bautismo hizo mucho para aliviar las luchas religiosas en Dinamarca.

Los objetivos de la tecnología inalámbrica Bluetooth son también la unificación y la armonía: específicamente, el permitir a diferentes dispositivos que se comuniquen a través de un estándar ampliamente aceptado para la conectividad inalámbrica. Resulta un tanto chusco, pero así es como el personal de marketing de Ericsson explica la selección del nombre “Bluetooth”.

2.2 LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH

La especificación Bluetooth comprende una solución integrada consistente en hardware, y requerimientos de interoperabilidad. El conjunto de especificaciones Bluetooth desarrollado por Ericsson y otras compañías responde a las necesidades de conectividad inalámbrica de corto alcance para redes ad hoc. El protocolo de banda base de Bluetooth es una combinación de conmutación de circuitos y de paquetes, lo que la hace apropiada tanto para voz como para datos.

La tecnología Bluetooth es una especificación abierta para la comunicación inalámbrica (WIRELESS) de datos y voz. Está basada en un enlace de radio de bajo coste y corto alcance, implementado en un circuito integrado de 9 x 9 mm, proporcionando conexiones instantáneas (ad hoc) para entornos de comunicaciones tanto móviles como estáticos. En definitiva, Bluetooth pretende ser una especificación global para la conectividad inalámbrica.

El principal objetivo de esta tecnología, es la posibilidad de reemplazar los muchos cables propietarios que conectan unos dispositivos con otros por medio de un enlace radio universal de corto alcance. Por ejemplo, la tecnología de radio Bluetooth implementada en el teléfono celular y en el ordenador portátil reemplazaría el molesto cable utilizado hoy en día para conectar ambos aparatos. Las impresoras, las agendas electrónicas, los PDA, los faxes, los teclados, los joysticks y prácticamente cualquier otro dispositivo digital son susceptibles de formar parte de un sistema Bluetooth.

Pero más allá de reemplazar, los con frecuencia incómodos cables, la tecnología Bluetooth ofrece un puente a las redes de datos existentes, una interfaz con el exterior y un mecanismo para formar en el momento, pequeños grupos de dispositivos conectados entre sí de forma privada fuera de cualquier estructura fija de red.



Figura 2. 1. Ejemplo comunicación bluetooth

La tecnología inalámbrica Bluetooth se implementa en transceptores de corto alcance diminutos y de bajo coste en los dispositivos móviles disponibles hoy en día, ya sea integrada directamente en tarjetas de expansión existentes, o añadida mediante dispositivos adaptadores, con una tarjeta PC-Card insertada en un portátil. En potencia, esto puede hacer que los dispositivos que utilicen la especificación Bluetooth sean la tecnología inalámbrica más barata de implementar. Una vez que los chips

lleguen a fabricarse en serie, se espera que sumen tan sólo 5 \$ al coste del producto en el que estén integrados.

Potencia de transmisión	Alcance aproximado
100mW (20dBm)	100m
2,5mW (4dBm)	25m
1mW (0dBm)	1m

Tabla 2. 1. Potencia en bluetooth

No es necesario comprar nuevos dispositivos obligatoriamente para sacar partido de la tecnología inalámbrica Bluetooth. Por ejemplo, los que hayan comprado un visor de Handspring –un dispositivo muy parecido al Palm Pilot, pero más barato y funcional- podrán insertar un módulo llamado Blue-Connect de Acer NeWeb. El módulo Blue-Connect transmite aplicaciones de Visor a Visor a un PC de sobremesa o portátil, con un esquema de sincronización llamado Blue-Share. También puede transmitir datos de la agenda de direcciones y transferir imágenes entre el Visor y cámaras digitales.

La tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza la banda de radio ISM mundialmente disponible y que no requiere licencia, de 2,4 GHz. Las bandas ISM (Industrial, Scientific, Medical; aplicaciones industriales, científicas y médicas) incluyen los rangos de frecuencia entre 902- 928 MHz y 2,4- 2,484 GHz, que no requieren una licencia de operador otorgada por las autoridades reguladoras de telecomunicaciones. El uso de una banda de frecuencia común significa que no pueden llevar dispositivos que utilicen la especificación Bluetooth virtualmente a cualquier parte del mundo, y serán capaces de enlazar con otros dispositivos similares, independientemente de que país esté visitando.

Las partes de un sistema bluetooth son:

- Una unidad de radio
- Una unidad de control del enlace
- Gestión del enlace
- Funciones software

2.2.1 EXPANSION DE ESPECTRO

Introducción

La tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza una técnica de codificación llamada expansión de espectro, un método de comunicaciones inalámbricas que toma una señal de banda estrecha y la expande en una porción más amplia de la banda de frecuencias de radio disponible. Entre otras ventajas, la señal resultante es muy resistente a interferencias y más segura contra interceptaciones. La misma tecnología se utiliza en teléfonos inalámbricos y redes de área local (LAN) inalámbricas. Además, muchos servicios celulares utilizan CDMA (Code Division Multiple Access, acceso múltiple mediante división por códigos), una técnica de modulación y acceso que se basa en el concepto de expansión de espectro.

En los últimos años, los sistemas CDMA han conseguido una amplia aceptación global por parte de los operadores inalámbricos. Esta técnica difiere de la utilizada para transmitir voz y datos sobre las redes de TDMA (Time Division Multiple Access, acceso múltiple por división del tiempo), que asignan a cada usuario un espacio en el tiempo dentro de una estrecha banda de espectro. Mientras que la tecnología inalámbrica Bluetooth hace uso de la tecnología de expansión de espectro, también utiliza un derivado de TDMA, llamado TDD (duplexación por división del tiempo), para proporcionar las franjas temporales utilizadas para la comunicación de voz y datos.

Historia

La patente en EE.UU. de la tecnología de expansión de espectro la tenían de forma conjunta la actriz Hedy Lamarr y el compositor musical George Antheil. Su patente de un “sistema de comunicaciones secretas”, realizada en 1942, se basaba en el concepto de saltos de frecuencia, donde las teclas de un piano representaban las diferentes frecuencias y los desplazamientos de frecuencia utilizados en música.

Durante la Segunda Guerra Mundial, a Lamarr le habían intrigado los misiles radiocontrolados y el problema de la facilidad para interferir la señal de guiado. Descubrió que si se podía hacer que la señal saltara de una frecuencia a otra muy rápidamente, como cuando se cambian emisoras en una radio, y tanto el emisor como el receptor cambiaban en el mismo orden y al mismo tiempo, la señal nunca podía ser bloqueada sin saber exactamente cómo y cuándo cambiaba la frecuencia. Aunque la idea de los saltos de frecuencia no se podía implementar debido a las limitaciones de tecnología en esa época, finalmente se convirtió en la base de las comunicaciones celulares.

Conceptos Teóricos

La expansión de espectro es una técnica de codificación digital en la que se toma una señal de banda estrecha y se “expande” sobre un espectro de frecuencias.

La operación de codificación aumenta el número de bits transmitidos y expande el ancho de banda utilizado. Utilizando el mismo código de expansión que el transmisor, el receptor correlaciona y devuelve la señal expandida a su forma original. El resultado es una tecnología de transmisión de datos inalámbricos muy robusta, que ofrece unas considerables ventajas de funcionamiento respecto a sistemas de radio convencionales de banda estrecha.

Una de las ventajas de la expansión de espectro es que la señal expandida tiene una densidad de potencia mucho menor. Esta baja densidad de potencia, expandida sobre el ancho de banda del transmisor, proporciona resistencia a una serie de condiciones que pueden afectar a los sistemas de radio de banda estrecha, incluyendo:

.Interferencias. Condición en la que se interrumpe una transmisión a causa de fuentes externas, como el ruido emitido por varios dispositivos electromecánicos, o a causa de fuentes internas como la diafonía.

.Interferencia intencionada. Condición en la que una señal más fuerte se superpone a una señal más débil, causando una interrupción en las comunicaciones de datos.

.Trayecto múltiple. Condición en la que la señal original se distorsiona tras reflejarse en un objeto sólido.

.Intercepción. Condición en la que usuarios no autorizados capturan señales intentando averiguar su contenido.

Los sistemas de radio convencionales de banda estrecha transmiten y reciben en una frecuencia específica que es solo lo suficientemente amplia como para transmitir la información, ya sea voz o datos. Al asignar a los usuarios diferentes canales de frecuencias, confinar las señales a límites de ancho de banda especificados, y restringir la potencia que se puede utilizar para modular las señales, se puede evitar la indeseada diafonía, es decir, las interferencias entre usuarios diferentes. Estas reglas impuestas por las agencias reguladoras de cada país, son necesarias porque cualquier aumento en la tasa de modulación amplía el ancho de banda de la señal de radio, lo cual aumenta la posibilidad de diafonía.

La principal ventaja de las ondas de radio con expansión de espectro es que se pueden manipular las señales para que se propaguen bastante bien por el aire, a pesar de las interferencias electromagnéticas, eliminando virtualmente la diafonía. En la modulación por expansión de espectro, se expande la potencia de una señal sobre una banda de frecuencia mayor. Esto resulta en una señal más robusta, que es menos susceptible a las interferencias de sistemas de radio similares, ya que éstos también están expandiendo sus señales, pero con diferentes algoritmos de expansión.

La expansión de espectro tiene dos modos de funcionamiento: saltos de frecuencia y secuencia directa. Los saltos de frecuencia expanden la señal haciendo saltar la señal de banda estrecha sobre toda la banda de radio en función del tiempo. La secuencia

directa expande su señal toda a la vez sobre la banda de radio al completo. Aunque la tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza el modo de expansión de espectro mediante saltos de frecuencia, es interesante contrastarlo con el mecanismo de secuencia directa para apreciar sus ventajas.

- Secuencia directa

En la expansión por secuencia directa, la energía de radio se expande por una porción mayor de la banda que la realmente necesaria para los datos. Esto se hace rompiendo cada bit de datos en múltiples sub-bits llamados chips, para crear una tasa de modulación mayor. Esta tasa se consigue multiplicando la señal digital por una secuencia de expansión (chipping sequence). Si la secuencia de expansión es de 10, por ejemplo, y se aplica a una señal que transporta datos a 300 Kbps, el ancho de banda resultante será 10 veces más amplio. La cantidad de expansión depende del número de chips por cada bit de información.

Como la modulación de datos amplía la portadora de radio a anchos de banda cada vez mayores a medida que se incrementa la velocidad de datos, esta tasa de expansión de 10 veces la velocidad de datos genera una portadora de radio 10 veces más amplia de lo que sería si sólo hubiera datos. El concepto subyacente a esta técnica es que una señal con expansión de espectro que tenga un código de expansión exclusivo para dicha señal no puede crear las características espectrales exactas de una señal codificada mediante expansión. Utilizando el mismo código que el transmisor, el receptor puede correlacionar y devolver la señal a su forma original, mientras que otros receptores con diferentes códigos no pueden.

Esta característica de la expansión de espectro hace posible construir y hacer funcionar múltiples redes en la misma ubicación. Al asignar a cada una un código de expansión exclusivo, todas las transmisiones pueden compartir la misma banda de frecuencias y seguir siendo independientes unas de otras. Las transmisiones de una red aparecen ante la otra como ruido aleatorio y son filtradas porque los códigos de expansión no coinciden.

Esta técnica de expansión podría dar como resultado una relación señal-ruido más débil, ya que el proceso de expansión disminuye la potencia de la señal en cualquier frecuencia. Normalmente, una relación señal a ruido baja daría como resultado paquetes de datos dañados que necesitarían retransmitirse. Sin embargo, la ganancia de procesamiento del correlador del receptor encargado de devolver la señal a su estado original, recupera la pérdida de potencia cuando la señal se contrae a su ancho de banda original, aunque no la refuerza más allá de lo que habría recibido si la señal no se hubiera expandido.

En Estados Unidos, las autoridades reguladoras han establecido unas reglas para los transmisores de secuencia directa. Cada señal ha de tener 10 o más chips. Esta regla

limita en la práctica la velocidad de datos de los emisores a 2 Mbps en la banda de 902 MHz y a 8 Mbps en la banda de 2,4 GHz. El número de chips está directamente relacionado con la inmunidad de la señal a las interferencias. En una zona con muchas interferencias de radio, los usuarios habrán de reducir la tasa de transferencia para limitar con éxito las interferencias.

- Saltos de frecuencia

La tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza la versión de saltos de frecuencia de la expansión de espectro, que supone el salto del transmisor de una frecuencia a la siguiente con una velocidad de saltos específica de acuerdo con una secuencia de código pseudoaleatoria. El orden de las frecuencias seleccionadas por el transmisor se toma de un grupo predeterminado impuesto por la secuencia de código. Por ejemplo, el transmisor puede tener un patrón de salto que vaya de la tercera frecuencia a la duodécima, a la quinta y así sucesivamente por todo el intervalo de frecuencias. El receptor no pierde de vista estos cambios. Como sólo el receptor deseado conoce el patrón de saltos del transmisor, sólo ese receptor puede entender los datos transmitidos.

Las autoridades reguladoras de Estados Unidos ordenan que los sistemas con expansión de espectro mediante saltos de frecuencia no pasen más de 0,4 segundos en cualquier canal cada 20 segundos, o 30 segundos en la banda de 2,4 GHz. Más aún, deben saltar entre al menos 50 canales en la banda de 900 MHz, y 75 canales en la banda de 2,4 GHz. Estas reglas reducen la posibilidad de colisiones de paquetes en áreas con múltiples transmisores de salto de frecuencia. En estándar Bluetooth específica una velocidad de 1600 saltos por segundo entre 79 frecuencias.

Todas las unidades Bluetooth participan en una picorred, con todas las unidades compartiendo un canal común. Una picorred puede soportar hasta 8 dispositivos interconectados, con un maestro y hasta 7 esclavos. Esta relación continua mientras dura la conexión de la picorred. Las unidades que participan en una picorred están sincronizadas desde el punto de vista del tiempo y de los saltos en el mismo canal. Todas las unidades Bluetooth tienen un reloj de sistema interno que determina la temporización y los saltos que utiliza su transceptor. El reloj del maestro determina la sincronización y los saltos de frecuencia en el canal de una picorred. Cuando se establece la picorred, el reloj maestro se comunica con los esclavos. Cada esclavo agrega un desplazamiento a su reloj interno para sincronizarse con el reloj maestro. Como los relojes funcionan con independencia, se han de actualizar regularmente dichos desplazamientos.

Otros transmisores con saltos de frecuencia situados en las cercanías utilizarán diferentes patrones de saltos y velocidades de salto mucho más lentas que los dispositivos Bluetooth. Si los transmisores que no utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth intentaran incidentalmente utilizar la misma frecuencia en el mismo momento, el paquete de datos transmitido por uno o varios dispositivos se verá

corrompido debido a la colisión, por lo que se necesitará la retransmisión de los paquetes de datos afectados; se enviara otra vez un nuevo paquete de datos en el siguiente ciclo de saltos de cada transmisor.

Aunque la posibilidad de que dispositivos que utilicen la tecnología inalámbrica Bluetooth interfieran con los que no, pero que comparten la misma banda de 2,4 GHz, es mínima, algunos fabricantes están preocupados por lo que han pedido a la FCC (autoridad reguladora de Estados Unidos) nuevas directrices que proporcionen más separación entre los protocolos rivales que trabajan en la banda de 2,4 GHz. El SIG Bluetooth y el IEEE reconocen el potencial de esas interferencias de señal y están trabajando conjuntamente para conseguir que sus tecnologías coexistan. El impacto de cualquier cambio se debe considerar tanto para los teléfonos portátiles como para otros dispositivos como hornos de microondas, altavoces inalámbricos y sistemas de seguridad, que también comparten esta banda.

2.2.2 ENLACE VIA RADIO

El enlace vía radio es en si mismo muy robusto, utilizando la tecnología de expansión de espectro con saltos de frecuencia para disminuir los efectos de las interferencias y desvanecimientos. Como ya se ha dicho, la expansión de espectro es una técnica de codificación digital en la que la señal se distribuye o expande, con lo que suena más como simple ruido para el oyente ocasional. La operación de codificación aumenta el número de bits transmitidos y expande el ancho de banda utilizado.

Utilizando el mismo código de expansión (en inglés, chipping code) que el transmisor, el receptor correlaciona y contrae la señal expandida de nuevo a su forma original. Expandiendo la potencia de la señal en una mayor banda de frecuencias, el resultado es una señal más robusta, que es menos susceptible de deterioro por causa de ruidos electromagnéticos y otras fuentes de interferencias. También hace más seguras las comunicaciones de voz y datos. Con el añadido de los saltos de frecuencia (hacer que las señales salten de una frecuencia a otra) las transmisiones inalámbricas se hacen aún más seguras contra escuchas.

Características del enlace radio

Bluetooth diseñado para operar en un entorno de radio frecuencia ruidoso, utiliza un esquema de reconocimiento rápido y saltos de frecuencia para garantizar la robustez del enlace. Bluetooth opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, libre para ISM (Industrial, Scientific, Medical). Los módulos de radio Bluetooth eliminan la interferencia con otras señales saltando a una nueva frecuencia inmediatamente después de transmitir o recibir un paquete. Comparado con otros sistemas que operan en la misma frecuencia, Bluetooth salta más rápido y usa paquetes más pequeños. Esto le hace más robusto que la mayoría de otros sistemas. Además, de esta forma

también se limita el impacto de los hornos de microondas, tanto domésticos como profesionales. El empleo de una corrección de error hacia delante (FEC, Forward Correction Error) reduce el efecto del ruido aleatorio en enlaces de larga distancia.

Transmisión

La codificación se ha optimizado para un entorno no coordinado. La velocidad de los datos viene a ser de 1Mb/s. Se utiliza un esquema de división en el tiempo para la transmisión en full-dúplex. El protocolo de banda base de Bluetooth es una combinación de conmutación de paquetes y de circuitos. Se pueden reservar ranuras para paquetes síncronos y cada paquete se transmite en un salto de frecuencia distinto.

Bluetooth puede soportar un canal de datos asíncrono, hasta tres canales síncronos de voz simultáneos, o un canal que simultáneamente soporta datos asíncronos y voz síncrona. Cada canal de voz permite un enlace síncrono de 64 kb/s. El canal asíncrono permite un enlace asimétrico de 721 kb/s y 57.6 kb/s en la respuesta, o un enlace simétrico de 432.6 kb/s. Los paquetes de voz no se retransmiten, ya que el método de codificación (CVSD) permite que la voz sea audible incluso con altos niveles de ruido.

En cuanto a la señal de radio, se ha añadido una expansión del espectro para facilitar la operación a niveles de potencia de más de 100mW. Se producen además 79 saltos en frecuencia desplazados 1MHz, de 2.402 GHz a 2.480 GHz. Debido a regulaciones locales, el ancho de banda se ve reducido en Francia, España y Japón. Esto es gestionado por el software interno. La frecuencia máxima de saltos es de 1600 por segundo. La distancia nominal del enlace está comprendida entre 10 cm y 10 m, pero se puede aumentar a más de 100 m elevando la potencia de transmisión.

Tipos de enlaces

En la especificación Bluetooth se han definido dos tipos de enlaces para soportar aplicaciones de voz y datos: un enlace asíncrono sin conexión (ACL) y un enlace síncrono orientado a conexión (SCO). Los enlaces ACL soportan tráfico de datos sin garantía de entrega; la información transmitida pueden ser datos del usuario a datos de control. Los enlaces SCO soportan voz en tiempo real y tráfico multimedia, utilizando un ancho de banda reservado. Tanto la voz como los datos se transmiten en forma de paquetes y la especificación Bluetooth permite implementar ACL SCO al mismo tiempo.

Los enlaces asíncronos sin conexión soportan conexiones simétricas o asimétricas, de conmutación de paquetes y punto-multipunto, que son las que suelen utilizar para datos. Para conexiones simétricas, la transferencia de datos máxima es de 433,9 Kbps en ambas direcciones, de envío y recepción. Para conexiones asimétricas, la

transferencia de datos máxima es de 723,2 Kbps en una dirección y 57,6 Kbps en la dirección opuesta. Si se detectan errores en el dispositivo receptor, se envía una notificación en la cabecera del paquete de retorno, de manera que sólo necesitan retransmitirse los paquetes perdidos o erróneos.

Los enlaces síncronos orientados a conexión ofrecen conexiones simétricas, de conmutación de circuitos, punto a punto, que son las que se suelen utilizar para voz. Hay disponibles para voz tres canales síncronos de 64 Kb cada uno. Los canales se crean utilizando modulación por impulsos codificados (PCM, Pulse Code Modulation, aunque también se usan las siglas en castellano MIC) o modulación diferencial de pendiente continuamente variable (CVSD, Continuously Variable Slope Delta). PCM es el estándar para codificar voz en forma analógica a formato digital de unos y ceros para su transmisión por la red telefónica. CVSD es otro estándar para codificación analógica-digital, que ofrece más inmunidad a las interferencias y es, por tanto, más adecuado que PCM para las comunicaciones de voz sobre un enlace inalámbrico. El esquema apropiado para codificación de voz se elige tras una negociación entre los gestores de enlace de cada dispositivo Bluetooth.

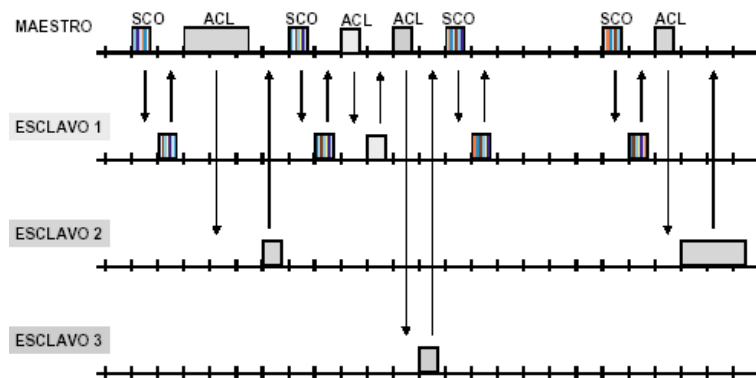


Figura 2. 2. Enlace síncrono y asíncrono

2.2.3ORIENTACION AL TRABAJO EN RED

Cuando se trata de una red **ad hoc** de datos, un dispositivo equipado con una radio que utiliza la especificación Bluetooth establece contacto instantáneo con una o más radios similarmente equipadas tan pronto como entran dentro del radio de acción mutuo.

Cada dispositivo posee una dirección unívoca de 48 bits de control de acceso al medio (MAC, Médium Access Control), como está especificado en los estándares IEEE 802 para redes de área local. Para voz, cuando un teléfono móvil que utiliza la tecnología inalámbrica Bluetooth entra dentro del radio de acción de otro teléfono móvil con tecnología inalámbrica Bluetooth integrada, las conversaciones tienen lugar sobre un enlace de radio localizado punto a punto. Como la conexión no implica a ningún proveedor de servicios de telecomunicaciones, no hay ningún coste de llamada.

Voz sobre Bluetooth

La especificación Bluetooth permite que los terminales telefónicos que la cumplen se utilicen de tres maneras diferentes. En primer lugar, los teléfonos del hogar o de la oficina pueden actuar como teléfonos inalámbricos conectándose a la Red Telefónica General de Conmutación (RTGC) e incurriendo en un gasto de utilización por minuto. Este escenario incluye la realización de llamadas entre dos terminales vía la estación base, y el acceso a servicios suplementarios proporcionados por una red externa.

En segundo lugar, los teléfonos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth pueden conectarse directamente con otros teléfonos, con el objeto de funcionar como radios portátiles o teléfonos supletorios portátiles. Llamado escenario de intercomunicación, esta conexión no implica ningún coste de utilización con el operador de telecomunicaciones. En tercer lugar, el teléfono puede funcionar como teléfono móvil conectado a la infraestructura celular e incurrir en los costes de comunicación por móvil correspondientes.

La especificación Bluetooth soporta tres canales de voz. Además de conexiones de voz de corto alcance tipo radioteléfono, un canal de voz puede utilizarse para un enlace de radio entre un auricular y un teléfono móvil, permitiéndole tener las manos libres para tareas más importantes, como conducir sin tener que conectar ningún cable, que suele ser un engorro.

Ericsson, por ejemplo, ofrece unos auriculares con un chip de radio Bluetooth integrado que pesan 20 gramos. La señal de radio actúa como enlace entre el auricular y el conector Bluetooth del teléfono Ericsson. Esto significa que puede llevar su teléfono sujeto a un cinturón o guardarlo y pasear mientras conversa. Cuando el teléfono suena, puede responder simplemente pulsando una tecla del auricular. Si desea hacer una llamada, simplemente pulse la tecla del auricular y use el reconocimiento de voz para iniciar la llamada. El teléfono puede hallarse a una distancia de hasta 10 metros, en un maletín, en el bolsillo de su abrigo o incluso en otra habitación, mientras habla con su interlocutor. El usuario goza de una movilidad completa sin llevar colgando ningún cable.

La tecnología infrarroja también permite transmitir voz. Un componente de la especificación IrMC (Infrared for Mobile Communications, comunicaciones móviles por infrarrojos) desarrollada por la IrDA (Infrared Data Association, asociación de datos por infrarrojos) incluye RTCON (Real Time Connection, conexión en tiempo real), un método de transmisión de voz digital a través del enlace. Un módulo RTCON añadido a un dispositivo portátil infrarrojo ofrece audio en tiempo real sobre un enlace infrarrojo. Sin embargo, esto únicamente funciona bien si ambos lados del enlace se hallan en posiciones fijas entre sí. La aplicación más común es un teléfono móvil situado en un soporte de coche para manos libres, lo que permite el funcionamiento de un teléfono con manos libres en el coche.

Voz

La especificación Bluetooth especifica tres canales síncronos de 64 Kbps cada uno, la misma cantidad de ancho de banda utilizada para transportar conversaciones de voz sobre líneas T digitales o servicios RDSI sobre la RTGC (Red Telefónica General de Comunicación). A diferencia del caso de los datos, los paquetes que llevan voz nunca pueden retransmitirse, porque el retardo resultante sería perjudicial para el hablante o el oyente. Como se dijo en el Capítulo 1, la especificación Bluetooth especifica el uso de dos esquemas de codificación de voz: modulación por impulsos codificados (PCM, Pulse Code Modulation) y modulación por delta de pendiente continuamente variable (CVSD, Continuously Variable Slope Delta). De las dos, CVSD es más inmune a las interferencias y por tanto mejor para las comunicaciones de voz sobre un enlace inalámbrico. La elección PCM o CVSD la hacen los gestores de enlace de cada dispositivo Bluetooth, que negocian el esquema de codificación más apropiado para la aplicación.

Para valorar CVSD, resulta útil compararla con PCM. De forma breve, PCM muestrea las amplitudes cambiantes de la forma de onda analógica 8.000 veces por segundo y asigna a cada punto de la forma de onda muestreada un valor expresado con la palabra de 8 bits, es decir, 1byte. Muestreando de esta manera la forma de onda analógica, se puede capturar la voz de una persona y representarla en formato digital. El flujo de datos resultante se envía por el enlace en forma de pulsos eléctricos que representan ceros y unos. En el dispositivo receptor, se decodifica esta información para conseguir una aproximación muy cercana a la forma de onda analógica original, lo que da como resultado un diálogo inteligible para el oyente.

CVSD funciona de una forma diferente, y es que la longitud de las muestras es de sólo 1 bit, en lugar de los 8 bits utilizados en PCM. Con una palabra digital tan pequeña, se pueden enviar muchas más muestras en el mismo ancho de banda, de manera que la transmisión es más inmune a interferencias. Pero las palabras de 1 bit no pueden medir el volumen. En lugar de representar el cambio en altura de la señal analógica, el bit de muestreo utilizado en CVSD sólo indica un cambio en la pendiente, o en el abrupto, de la curva.

La modulación CVSD es un método de digitalizar una señal hablada que se aprovecha del hecho de que las señales de voz no cambian abruptamente. En lugar de muestrear la amplitud de la señal hablada 8.000 veces por segundo y codificar los valores resultantes como palabras de 8 bits, como en PCM, CVSD sólo utiliza palabras de 1 bit, cada una de las cuales señala un cambio en la pendiente de la “curva” de la señal analógica.

Básicamente el modulador CVSD es un convertidor analógico-digital de 1 bit.

La salida de este codificador de 1 bit es un flujo de bits en serie, con cada bit representando un aumento o disminución de la amplitud de la señal que se calcula como función del histórico de muestreo reciente. El número de muestras pasadas (es decir bits) que se utilizan para realizar una predicción es de tres. Con sólo una palabra de 1 bit, se pueden enviar muchas más muestras en el mismo ancho de la banda, lo que hace que CVSD sea muy robusto.

El modulador o convertidor, CVSD está incorporado en varios conjuntos de chips Bluetooth comerciales, que se hallan integrados en dispositivos de consumo como teléfonos móviles y asistentes PDA. El convertidor CVSD consiste en una pareja codificador-decodificador, con el decodificador conectado como parte del bucle de realimentación. El codificador recibe una señal de audio limitada en banda y la compara con la salida analógica del decodificador. El resultado de la comparación es una cadena en serie de unos y ceros, cada uno de los cuales indica si la amplitud de la muestra de audio de banda limitada está por encima o por debajo de la señal decodificada. Cuando se encuentra en grupo de tres bits idénticos, la pendiente de la aproximación analógica generada aumenta en la dirección respectiva, hasta que se interrumpe la cadena de bits idénticos. El decodificador CVSD realiza la operación inversa al codificador y regenera la señal de audio.

CVSD posee varios atributos que lo hacen adecuado para la codificación digital de habla. Las palabras de un bit eliminan la necesidad de complejas secuencias de tramado. Con su robusto comportamiento en presencia de bits de error, las funciones de detección y corrección de errores son innecesarias. Otros esquemas de codificación de habla pueden necesitar un motor de procesamiento digital de la señal (DSP, digital signal processing) y componentes extra para la conversión analógica-digital/digital-analógica. Otra ventaja de CVSD es que el algoritmo de codificación/decodificación, incluyendo los filtros de entrada y salida, se puede integrar en un solo sustrato de silicio. Incluso con esta sencillez, CVSD tiene la suficiente flexibilidad como para permitir cifrado digital para conversaciones seguras.

Por último CVSD puede funcionar en una amplia gama de velocidades de datos. Ideado en 1970, CVSD se ha ido utilizando con éxito desde 9,6 Kbps a 64 Kbps. Mientras que la calidad de audio a 9,6 Kbps está notablemente limitada, todavía es inteligible. A velocidades de datos de 24 Kbps a 48Kbps la calidad de audio es aceptable, y por encima de 48 Kbps es comparable a la voz telefónica normal. Todos estos atributos hacen a CVSD atractivo para los sistemas de comunicación inalámbricos, en particular Bluetooth.

Aunque puede haber errores incluso con CVSD, la voz nunca puede retransmitirse a causa del retardo que eso acarrearía. Por eso, cuando hay errores, aparecen en el dispositivo receptor simplemente como ruido de fondo. Este ruido aumenta a medida que aumentan los bits de error. Pero para distancias limitadas y comunicación punto a punto de voz en un entorno Bluetooth, CVSD se comporta muy bien.

Vídeo sobre Bluetooth

Además de la voz, la especificación Bluetooth es capaz de soportar transmisiones de vídeo entre dispositivos. Un circuito integrado desarrollado por Toshiba, uno de los cinco miembros fundadores del SIG Bluetooth, soporta codificación y decodificación en formato

MPEG-4. La implementación de Toshiba implica la transferencia de imágenes capturadas por una cámara digital, comprimiéndolas en formato MPEG-4, y

emitiéndolas mediante la tecnología inalámbrica Bluetooth a otro dispositivo, como por ejemplo a una estación de trabajo donde pueden ser emitidas.

La comunicación entre dispositivos se gestiona mediante TCP/IP, (protocolo de control de transmisión/ protocolo internet) ejecutándose sobre el protocolo de nivel de enlace de la especificación Bluetooth. TCP/IP proporciona la base para implementar el protocolo RTP (protocolo de transferencia en tiempo real), lo que asegura que los paquetes de vídeo estén correctamente sincronizados. En el momento de escribir estas líneas, la velocidad de transmisión es de sólo diez imágenes por segundo en formato QCIF (formato intermedio común de un cuarto de pantalla), por lo que la calidad de imagen es mucho menor que la ofrecida por la televisión a 30 imágenes por segundo. Sin embargo, Toshiba está trabajando

Para mejorar la calidad de las imágenes y la velocidad de las mismas. Incluso ahora, la tecnología es lo suficientemente buena como para permitir que un usuario en la habitación de una casa vea lo que está retransmitiendo la TV, con el fin de manejar el vídeo de forma remota: la clase de tarea para que los dispositivos de Bluetooth resultan ideales en el hogar.

Los circuitos integrales de Toshiba ofrecen la funcionalidad de procesamiento de alto nivel que se requiere para la codificación y decodificación de vídeo MPEG-4, pero con reducciones significativas en cuanto a consumo de energía, lo que los hace adecuados para aplicaciones inalámbricas con restricciones de potencia, incluyendo las que se ejecutan en la tercera generación de móviles y productos de comunicaciones, y en dispositivos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth.

MPEG (grupo de expertos de imágenes en movimiento) es la organización internacional, gestionada conjuntamente por la ISO (Organización Internacional de Estandarización) y la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) que propone formatos para la compresión de señales de audio y vídeo que permitan garantizar su eficiente almacenamiento y transmisión.

MPEG-1 (es el estándar en el cual se basan productos como el Vídeo CD y los archivos de música MP3) comprende la grabación en soportes físicos como los CD-ROM, mientras que el formato MPEG-2 (es el estándar en el que se basan productos como los decodificadores de televisión digital y los DVD) establece estándares para la radiodifusión y para otros equipos de audio y vídeo como los DVD. MPEG-4 (es el estándar para multimedia en la Web y para entornos inalámbricos, no existe MPEG-3) se centra principalmente en las aplicaciones de comunicaciones inalámbricas del tipo al que se dirige la especificación Bluetooth, así como también en aplicaciones multimedia basadas en la Web.

Un elemento clave de MPEG-4 es un formato de compresión de señales de vídeo apropiado para aplicaciones caracterizadas por una transmisión de datos inestable, incluyendo aplicaciones que funcionen a través de enlaces inalámbricos e Internet. Toshiba ha añadido una función de corrección de errores para evitar la degradación de la imagen que resulta de los errores en la comunicación de datos.

Datos

Al no tener necesidad de bits de arranque-parada, la transmisión síncrona confía en una sincronización exacta entre los dispositivos emisor y receptor para dar sentido a los unos y ceros del flujo de datos en la decodificación. Si ambos dispositivos utilizar el mismo reloj, puede haber una transmisión con la seguridad de que el flujo de datos sea interpretado fielmente por el receptor. Para prevenirse contra la pérdida de sincronización, periódicamente se pone en sincronización el receptor con el transmisor por medio del uso de bits de control insertados en el flujo de datos.

En el método de transmisión síncrona, los datos no se envían como bytes individuales acotados por bits de arranque-parada, sino como paquetes en franjas de tiempo reservadas que se establecen entre dispositivos específicos emisores y receptores. La transmisión síncrona suele hacer un uso del ancho de banda mucho más eficiente que la transmisión asíncrona, aunque sólo sea porque el campo de datos es mucho más grande que los campos de control. Otra ventaja de la transmisión síncrona es que la estructura de paquetes permite un fácil manejo de la información de control. Hay una posición natural, normalmente al inicio del paquete, o por medio del uso de un mensaje de configuración, como es el caso de la arquitectura Bluetooth, para cualquier código especial que se necesite para transportar los parámetros de temporización y especificar las franjas temporales reservadas.

Interferencias

La expansión de espectro permite combatir las interferencias procedentes de otros dispositivos que también trabajan en la banda de 2,4 GHz del espectro de radio, que no requiere licencia, incluyendo las de los hornos de microondas y otros aparatos utilizados en el hogar, así como algunas redes locales inalámbricas utilizadas en la oficina. En lugar de permanecer en una frecuencia, cada dispositivo de expansión de espectro salta 1.600 veces por segundo entre 79 frecuencias distintas. El dispositivo que inicia la conexión le dirá al otro dispositivo que secuencia de saltos utilizar. Si hay demasiadas interferencias en una frecuencia, la transmisión se pierde durante sólo un milisegundo. Para aumentar la fiabilidad, el sistema puede enviar cada bit de datos por triplicado. El resultado es que varias docenas de personas en una misma habitación pueden utilizar dispositivos Bluetooth sin interferencias significativas.

Las interferencias son una preocupación primordial en entornos corporativos, en los que puede que se estén utilizando redes LAN inalámbricas. La tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza la misma tecnología de expansión de espectro que las LAN inalámbricas basadas en el estándar 802.11 y ambas trabajan en el mismo espectro de radio de 2.4 GHz. Aunque el enlace inalámbrico utilizado por los dispositivos Bluetooth trabaja sobre distancias más cortas que las utilizadas en las redes locales tipo 802.11, ocasionalmente ambas pueden ocupar el mismo espacio. Cuando una conexión Bluetooth colisiona con una conexión LAN inalámbrica, una o ambas conexiones pueden verse interferidas, dando como resultado un error de transmisión. Cuando esto sucede, los esquemas de corrección de errores tanto en la

LAN como en los enlaces Bluetooth corregirán los enlaces de bit. El uso de diferentes secuencias de saltos de frecuencia minimiza la posibilidad de una interferencia, como lo hace el mecanismo de expansión en toda la banda de frecuencias.

2.3 TOPOLOGÍA BLUETOOTH

Los dispositivos dentro de una piconet juegan dos papeles: el de maestro o el de esclavo. El maestro es el dispositivo de una piconet cuyo reloj y secuencia de saltos se utilizan para sincronizar a todos los demás dispositivos (es decir, los esclavos) de la piconet. La unidad que lleva a cabo el procedimiento de búsqueda y establece una conexión es, de manera predeterminada, el maestro de la conexión. Los esclavos son unidades de la piconet que se sincronizan con el maestro mediante su reloj y su secuencia de saltos.

La topología Bluetooth se puede describir más acertadamente como una estructura de piconets múltiples. Dado que la especificación Bluetooth soporta tanto conexiones punto a punto como punto a multipunto, se pueden establecer y enlazar varias piconets en una topología llamada de red dispersa (scatternet) siempre que surja la necesidad.

Las piconets no están coordinadas, y los saltos de frecuencia suceden de forma independiente. Se pueden establecer y enlazar a voluntad varias piconets, donde cada una se identifica por una secuencia de saltos de frecuencia diferente. Todos los usuarios que participan en la misma piconet se sincronizan con la correspondiente secuencia de salto. Aunque no se permite la sincronización de diferentes piconets en la banda ISM, las unidades que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth pueden participar en diferentes piconets gracias a una multiplexación por división del tiempo (TDM). Esto permite a una unidad participar de forma secuencial en diferentes piconets, cuando activa en sólo una piconet cada vez.

Dentro de una misma piconet, diferentes pares maestro - esclavo pueden usar diferentes enlaces y el tipo de enlace puede cambiar arbitrariamente durante la sesión. Cada enlace soporta hasta 16 tipos de paquetes y cuatro de ellos son paquetes de control comunes para los dos tipos de enlace.

Los campos de detección de errores se incluyen en la carga de datos para tratar de reducir las necesidades de retransmisión de paquetes. Sin embargo la definición de los paquetes es lo suficientemente flexible para permitir no incluir estos esquemas de detección de errores. De esta forma se puede reducir la sobrecarga en entornos que se consideren suficientemente fiables. Los datos transmitidos en cada slot son directamente reconocidos por el recipiente en el siguiente slot. Para que el reconocimiento sea positivo debe serlo tanto el chequeo de error de la cabecera del paquete como el CRC de los datos.

Las funciones del control del enlace son realizadas por el procesador de banda base, que se encarga de transformar las señales recibidas en datos y los datos en señales para su transmisión. Además debe encargarse de comprimir los datos, repartirlos en paquetes, asignar identificadores y códigos de corrección de errores, y debe ser capaz de revertir todo el proceso con los datos que le lleguen.

Cada paquete contiene información sobre:

- Origen.
- Destino.
- La frecuencia que está utilizando.
- Cómo se han comprimido los datos.
- El orden en que los paquetes fueron transmitidos.
- Información para verificar la efectividad de la transmisión.

La forma de estructurar los paquetes y los datos en una comunicación Bluetooth:

- Tienen un máximo de 5 espacios de tiempo
- Datos de un paquete con un máximo de 2745 bits

Estructura de un paquete:

- Código de acceso único para el canal, 72 bits.
- Cabecera con información de control, control acceso al medio (MAC), tipo de paquete, bits de control de flujo, esquema ARQ de petición de retransmisión automática y chequeo de error de cabecera. 54 bits.
- Datos de 0 a 2745 bits.

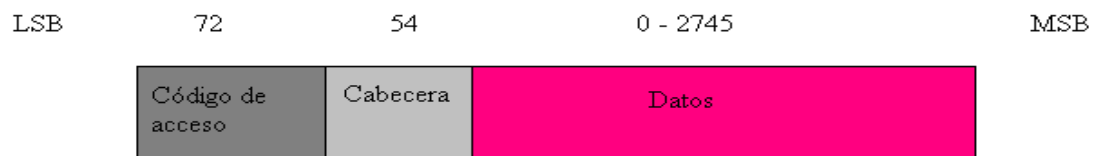


Figura 2. 3. Estructura de un paquete

Mediante su protocolo de descubrimiento de servicios, la especificación Bluetooth permite una visión más amplia de la creación de redes, incluyendo la creación de redes de área personal, donde todos los dispositivos presentes en la vida de una persona pueden comunicarse y trabajar conjuntamente. Los sistemas de seguridad se encargan de que un grupo de dispositivos Bluetooth que se halle en un lugar público, como una terminal de aeropuerto o una estación de tren, no comiencen repentinamente a hablarse unos a otros.

El SIG Bluetooth tiene la intención de hacer evolucionar la tecnología para proporcionar mayores anchos de banda y distancias, incrementando de esa manera las plataformas y aplicaciones potenciales utilizadas en el emergente nicho de mercado de las redes de área personal. La tecnología inalámbrica Bluetooth puede evolucionar para soportar aplicaciones de transmisión inalámbrica de datos que trabajen en el rango de los 5 GHz, soportando conexiones de dispositivos que se hallen hasta a 100 metros de distancia.

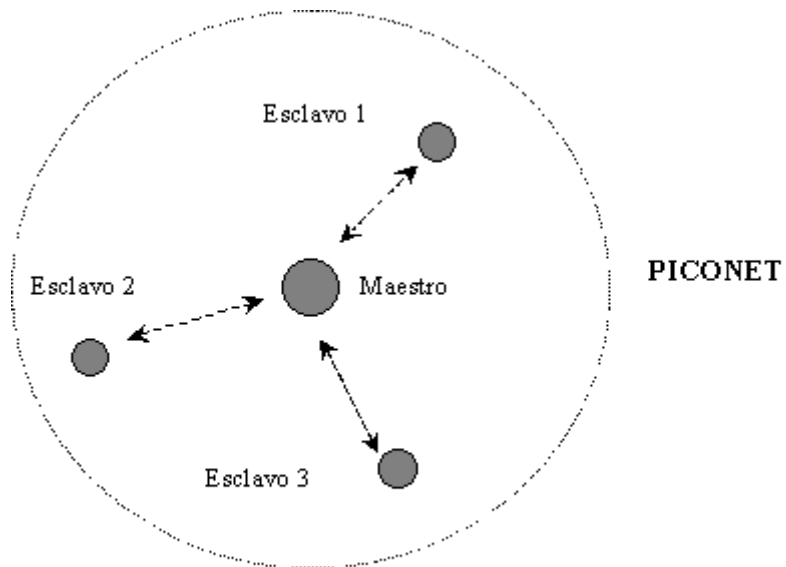


Figura 2. 4. Esquema piconet conexión maestro-esclavos.

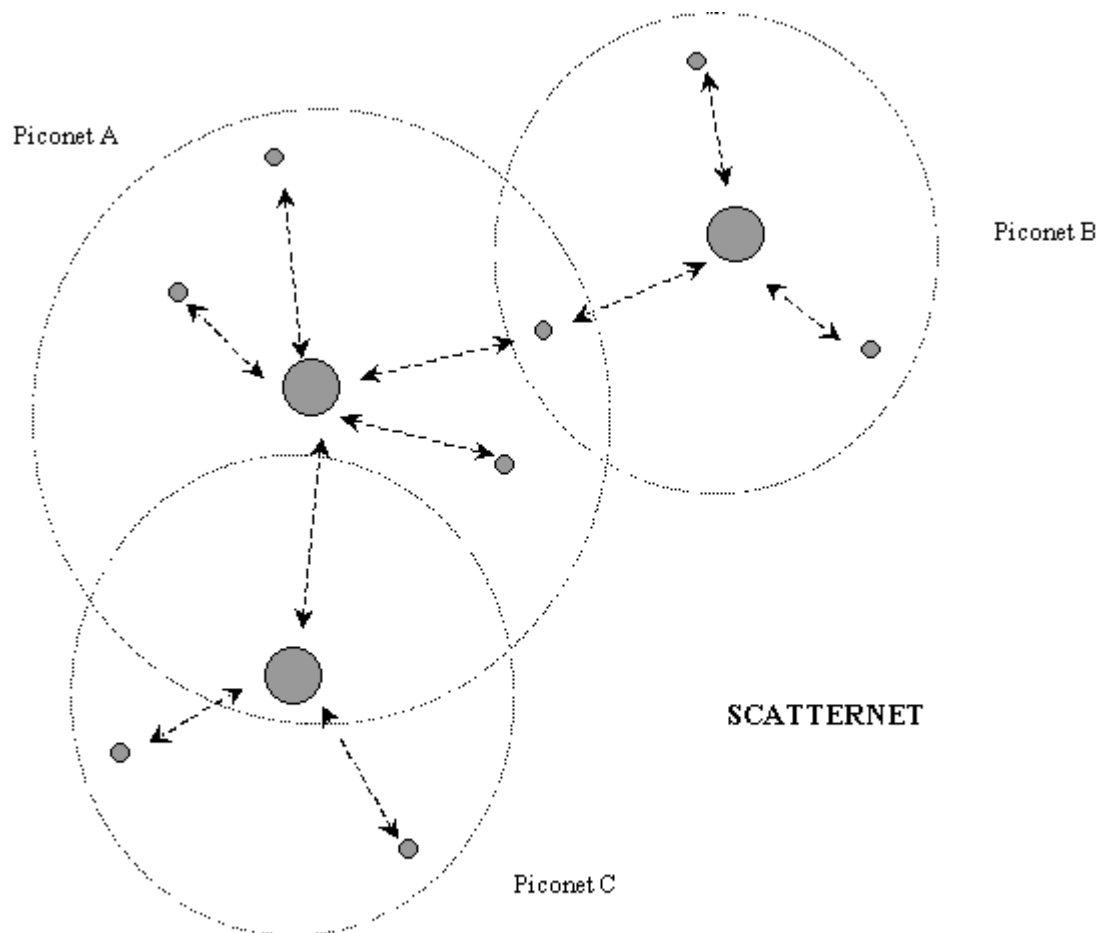


Figura 2. 5. Esquema Scatternet

2.4 PROTOCOLOS BLUETOOTH

Uno de los principales objetivos de la tecnología Bluetooth es conseguir que aplicaciones de dispositivos diferentes mantengan un dialogo fluido. Para conseguirlo, ambos, deben ejecutarse sobre la misma pila de protocolos.

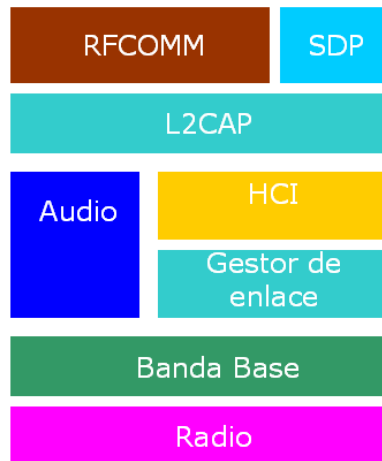


Figura 2. 6. Protocolos bluetooth

La pila está constituida por dos clases de protocolos. Una primera clase llamada de protocolos específicos que implementa los protocolos propios de Bluetooth. Y una segunda clase formada por el conjunto de protocolos adoptados de otras especificaciones. Esta división en clases en el diseño de la pila de protocolos de Bluetooth permite aprovechar un conjunto muy amplio de ventajas de ambas. Por un lado, al implementar protocolos específicos de Bluetooth permite utilizar los beneficios que aporta la adopción de la tecnología Bluetooth. Por otro lado la utilización de protocolos no específicos ofrece la ventaja de la interacción de esta tecnología con protocolos comerciales ya existentes. Así como la posibilidad de que Bluetooth este abierto a implementaciones libres o nuevos protocolos de aplicación de uso común. La pila de protocolos se puede dividir en cuatro capas lógicas:

- Núcleo de Bluetooth : Radio, Banda Base, LMP, L2CAP, SDP
- Sustitución de cable: RFCOMM
- Protocolos adoptados: PPP, UDP, TCP, IP, OBEX, WAP, IRMC, WAE
- Control de telefonía: TCS-binary, AT-Commands

El llamado de núcleo de Bluetooth, mirar la figura anterior, ha sido implementado en su totalidad por el SIG, no obstante otros como RFCOMM y TCS-binary pese a ser desarrollados por el propio SIG, los han desarrollado siguiendo las recomendaciones de otras instituciones de telecomunicaciones.

El resto de capas lógicas de sustitución de cable, de control de telefonía y de protocolos adoptados agrupan a los protocolos orientados a aplicación, permitiendo así a las diferentes aplicaciones existentes o desarrolladas en el futuro poder correr

sobre el núcleo de Bluetooth. Como es una norma abierta en cuanto a los protocolos que corren encima de los protocolos específicos de transporte, se pueden hacer implementaciones que usen protocolos tan usados como FTP o HTTP por ejemplo. A partir de aquí se va a realizar una descripción detallada de los protocolos que emplea Bluetooth en su núcleo, y que constituyen la base de su funcionamiento.

2.4.1 Radio Bluetooth (RF)

Bluetooth fue diseñado para operar en un entorno de radio frecuencia ruidoso (LANs, mandos, hornos microondas), y para ello utiliza un esquema de reconocimiento rápido y saltos de frecuencia para garantizar la robustez del enlace. Este sistema opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, libre para ISM (Industrial, Científica, Medica) más exactamente comenzando en 2.402 GHz y acabando en 2.4835 GHz. Con canales RF de $f = 2402 + k$ MHz siendo $k = 0..79$.

El espacio entre canales es de 1 MHz, no obstante es necesario tener unos márgenes de protección respecto al ancho de banda de trabajo, así pues, el límite superior de protección es de 2 MHz y un límite inferior es de 3,5 MHz

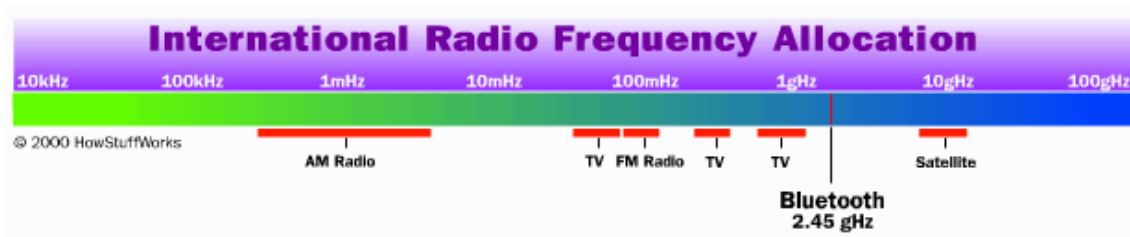


Figura 2. 7. Espectro de frecuencias telecomunicaciones

La distancia nominal del enlace está comprendida entre 10 cm. y 10 m, pero se puede aumentar a más de 100 m elevando la potencia de transmisión Otro aspecto importante es el consumo cuyos valores en los estados más habituales son 300uA (máx.), 30uA (standby), -50uA (hold/park).

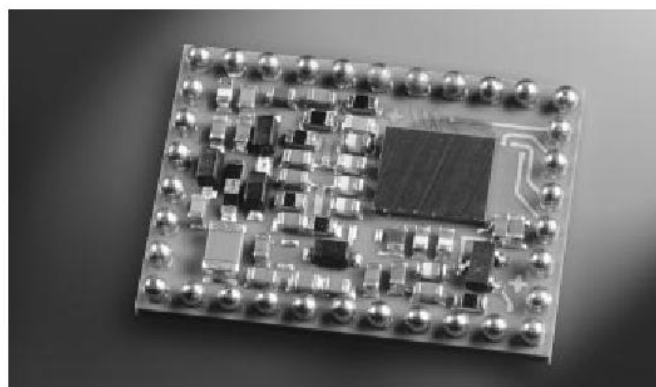


Figura 2. 8. Módulo de radio de Ericsson Microelectronics

- Características de la modulación

La modulación que emplea Bluetooth es GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) con un producto ancho de banda por tiempo $BT=0.5$. Este tipo de modulación permite un bajo coste. El índice de modulación debe estar entre 0.28 y 0.35. Un uno binario se representa por una desviación positiva de frecuencia y un cero binario como una desviación negativa. La desviación mínima no ha de ser menor de 115 KHz.

- Características del dispositivo receptor

El aspecto más importante en el dispositivo receptor es el nivel de sensibilidad. Para poder medir una tasa de error de bit, el equipo receptor envía de vuelta la información decodificada. Para una tasa de error o BER (Bit Error Rate) del 0.1% se define el nivel de sensibilidad de un receptor Bluetooth mayor o igual a **-70dBm**.

2.4.2 Banda Base (BaseBand)

Bluetooth brinda una conexión punto-a-punto o conexión punto-a-multipunto. Dos o más unidades compartiendo el mismo canal forman una piconet o picored. Cada piconet tiene una secuencia de salto diferente y como elementos a destacar tenemos un maestro que puede tener hasta siete esclavos activos, además pueden haber muchos más esclavos en estado parked o aparcados, en realidad un número ilimitado de ellos. Estos esclavos no están activos en el canal sin embargo están sincronizados con el maestro con el fin de asegurar una rápida iniciación de comunicación. El maestro (Master) es el responsable de la sincronización entre los dispositivos de la piconet, su reloj y saltos de frecuencia controlan al resto de dispositivos. Además el maestro es quien, de manera predeterminada, lleva a cabo el procedimiento de búsqueda y establecimiento de la conexión. Los esclavos simplemente se sincronizan y siguen la secuencia de saltos determinada por el maestro. En la figura se puede observar una piconet donde el PC actúa como maestro y los otros dispositivos están conectados como esclavos.

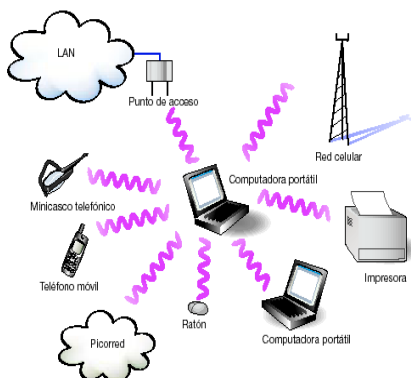


Figura 2. 9. Conexión maestro-esclavos

No obstante los dispositivos esclavos pueden, además de activos o aparcados, estar en otros dos estados más. Uno es el llamado estado programable de escucha o sniff donde el esclavo escucha de forma reducida la piconet, este estado depende de la aplicación. El otro estado es el llamado de retención o contención (hold) que puede ser iniciado por el maestro o solicitado por el esclavo y se reactiva de forma instantánea en cuanto se abandona el modo la transferencia de datos.

No obstante un dispositivo no tiene tan solo una función, es decir, ser sólo maestro o sólo esclavo, sino que en ciertas ocasiones puede actuar en cualquiera de los dos roles tanto de maestro como de esclavo.

La topología Bluetooth permite la interconexión de varias piconets formando una scatternet, Aunque no existe sincronización entre piconets, un dispositivo puede pertenecer a varias de ellas haciendo uso de la multiplexación por división del tiempo (TDD), aunque el dispositivo sólo está activo en una piconet a la vez.

- Técnica TDD (Time Division Duplex)

El canal físico contiene 79 frecuencias de radio diferentes, las cuales son accedidas de acuerdo a una secuencia de saltos aleatoria. El valor de saltos estándar es de 1600 saltos/s. El canal está dividido en **timeslots o slots** (ranuras de tiempo), cada slot corresponde a una frecuencia de salto y tiene una longitud de 625 us. Cada secuencia de salto en una piconet está determinada por la dirección del maestro (48 bits) de la piconet. Todos los dispositivos conectados a la piconet están sincronizados con el canal en salto y tiempo. En una transmisión, cada paquete debe estar alineado con el inicio de un **slot** y puede tener una duración de hasta cinco **timeslots**. Durante la transmisión de un paquete la frecuencia es fija. Para evitar fallos en la transmisión (crosstalk), el maestro inicia enviando en los **timeslots** pares y los esclavos en los **timeslots** impares.

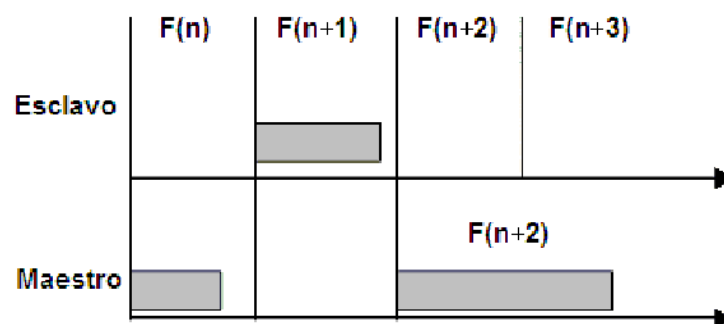


Figura 2. 10. Esquema técnica TDD

- Establecimiento de conexiones en Bluetooth

Antes de que ninguna conexión sea establecida en una piconet, los dispositivos están en modo "standby". Cada uno busca mensajes periódicamente cada 1.28 segundos. Cuando un dispositivo despierta, escucha en un conjunto de 32 frecuencias distintas, definidas para esa unidad. El número de frecuencias varía según la región

geográfica. El procedimiento de conexión puede ser iniciado por cualquiera de los dispositivos, el cual automáticamente se convertirá en la estación maestra de la piconet. Para ello, enviará un mensaje de interrogación para encontrar unidades desconocidas y un mensaje de inicio a todas las direcciones conocidas. Se llaman a estos los procedimientos de acceso que son los de búsqueda o *paging* y los de pregunta o *inquiry*. Si no se conoce nada sobre el dispositivo remoto debe seguirse tanto el procedimiento *inquiry* como el de *paging*. Si se conocen algunos detalles del dispositivo remoto sólo será necesario el procedimiento de *paging*.

Pregunta (Inquiry)

El procedimiento de “*inquiry*” permite a un dispositivo descubrir qué dispositivos están en su zona de cobertura, determinando sus direcciones y el reloj de todos aquellos que respondan al mensaje de búsqueda. Entonces, si el dispositivo emisor lo desea, establecerá una conexión con alguno de los dispositivos descubiertos.

El mensaje de búsqueda no contiene ningún tipo de información sobre la fuente emisora del mensaje, no obstante, puede indicar qué clase de dispositivos deberían responder. Para poder conseguir esto existe un código de acceso de pregunta (GIAC) para preguntar por algún tipo de dispositivo en especial, y una serie de códigos de acceso de pregunta dedicados (DIAC) para tipos de dispositivos.

Así pues un dispositivo que quiera conectar con otro dispositivo en concreto continuamente transmite el mensaje GIAC en diferentes frecuencias de salto. La secuencia de saltos está determinada en la parte menos significativa de la dirección del GIAC, incluso cuando se utilizan los DIAC. Un dispositivo que quiera ser descubierto, cada cierto tiempo entrará en un estado de escaneo de preguntas llamado “*inquiry scan*” para atender a estos mensajes.

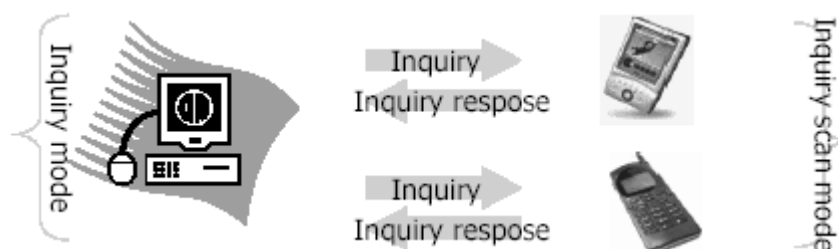


Figura 2. 11. Procedimiento inicio conexión Inquiry

Una vez atendida la pregunta, el dispositivo destino, entrará en el modo “*inquiry response*” y transmite un mensaje de respuesta que consiste en una paquete FHS (Frequency Hop Synchronization), que tiene los parámetros del dispositivo. El maestro escucha las diferentes respuestas, pero nada más leer una respuesta continua escaneando por diferentes respuestas. En el caso de que exista contienda entre

diferentes dispositivos, éstos, al no recibir respuesta del maestro, esperan un número aleatorio de slots y se mantienen a la escucha de un nuevo mensaje de pregunta del maestro.

Búsqueda (Paging)

El procedimiento de “paging” sigue al de “inquiry”. El procedimiento de paging pregunta por la dirección de un dispositivo Bluetooth con el que queremos establecer la conexión. Este identificador del dispositivo se obtenido de las siguientes tres formas:

- 1) Obtenida en la respuesta de un “inquiry”.
- 2) Introducida por el usuario.
- 3) Preprogramada por el fabricante del dispositivo.

Entonces el dispositivo maestro, que se encuentra en el estado page, inicia la transmisión transmite el código de acceso o DAC (Device Access Code) al dispositivo que deseamos que sea esclavo de forma repetida en diferentes canales de salto. Debido a que los relojes del maestro y del esclavo no están sincronizados, el maestro no sabe exactamente cuándo y en qué frecuencia de salto se activará el esclavo por lo tanto maestro se quedará a la escucha entre los diversos intervalos de transmisión hasta recibir respuesta del esclavo.

Después de haber recibido su propio código de acceso de dispositivo, el esclavo transmite un mensaje de respuesta, simplemente indicará su código de acceso, y se queda activado en espera de la llegada del paquete FHS (Frequency Hop Synchronization), Cuando el maestro ha recibido este paquete ACK, envía un paquete de control con información acerca de su reloj, dirección, clase de dispositivo, etc. El maestro se queda a la espera de una respuesta.

El esclavo se activa y responde con un nuevo mensaje ACK donde envía de nuevo su dirección y a la vez cambia el código de acceso del canal y su reloj, tomando los del maestro incluido en el paquete FHS. El esclavo establece la conexión usando para ello el reloj y la BD_ADDR del maestro para determinar la secuencia de salto del canal y el código de acceso.

Si el maestro no obtiene esta respuesta en un determinado tiempo, él reenvía el paquete de control. Si el esclavo excede el tiempo de espera, entonces vuelve al estado de page scan. Si es el maestro quien lo excede, entonces vuelve al estado de page e informa a las capas superiores. Con el ACK, el maestro entra en modo de conexión establecida y usa su BD_ADDR para cambiar a una nueva secuencia

2.4.3 LMP: Link Manager Protocol

El siguiente protocolo específico se encarga de la gestión del enlace entre dispositivos Bluetooth, de la seguridad, del control de paquetes, potencia, calidad del servicio y control de la piconet (conmutación maestro esclavo).

Formato de LMP

El mensaje LMP se transmite siempre en tan sólo un slot y posee mayor prioridad que los datos del usuario y no se propaga a capas superiores. Posee tres campos importantes:

1. El identificador de transacción: Nos indica si la PDU que se gestiona pertenece al maestro o al esclavo.
2. Código de operación: Es un código de 7 bits que nos permite identificar los diferentes tipos de PDUs.
3. Campo Content: contendrá información específica de la aplicación.

El LMP especifica un conjunto de PDUs obligatorias y opcionales. La transmisión y la recepción de PDUs obligatorias deben ser necesariamente soportada. Con respecto a las PDUs opcionales no tienen porque estar implementadas. No obstante es recomendable que se pueda reconocer este tipo de PDUs.

Tras haberse completado el procedimiento de búsqueda o Paging, ya se está listo para establecer una conexión LMP. En primer lugar el dispositivo emisor envía la primitiva LMP_host_connection_req. El dispositivo receptor recibe el mensaje y obtiene información sobre la conexión que se va a abrir. Este dispositivo remoto puede aceptar (LMP_accepted) o rechazar (LMP_not_accepted) esa petición de conexión. Una vez establecidas todas las configuraciones necesarias, los dos dispositivos se mandan LMP_setup_complete. Después de esto, se procederá a la transmisión de los paquetes de los diferentes canales lógicos que emplea LMP.

2.4.4 L2CAP: Logical Link Control and adaption Protocol

L2CAP es un protocolo que se encuentra por encima del anterior protocolo (LMP), se encarga de adaptar los protocolos superiores al protocolo de banda base. Sus tres principales funciones son:

- 1) Multiplexación de protocolos de alto nivel
- 2) Segmentación y reensamblado de paquetes largos (hasta 64 kbytes)
- 3) Descubrimiento de dispositivos y calidad de servicio

Para cumplir estas funciones la arquitectura L2CAP debe cumplir ciertos requisitos:

a) L2CAP ofrece un servicio orientado a conexión donde el identificador del canal es utilizado en cada conexión, asumiendo que este canal es full-duplex y fiable, además se tiene que especificación del flujo de QoS asignada a cada dirección del canal.

b) L2CAP esta basados en datagramas y no en flujos continuos. Se debe notar que en L2CAP, se conservan los límites del paquete, así como que no se realiza retransmisión ni control de flujo.

Formato de paquetes L2CAP

L2CAP sigue un modelo de comunicación basado en canales. Un canal representa un flujo de datos entre entidades L2CAP en dispositivos remotos. Los canales pueden o no ser orientados a la conexión. Como se puede observar los paquetes tienen tres campos:

Longitud (16 bits)	CID (16 bits)	Datos (0-65535 bytes)
-----------------------	------------------	--------------------------

Figura 2. 12. Formato de un paquete en L2CAP

- Longitud: Especifica la longitud del campo de datos en bytes.
- CID: Como L2CAP está basado en el concepto de canales necesitamos identificar a cada uno de ellos. Por ello utilizamos el CID o identificador de canal que nos permite identificar el canal a el cual el paquete será entregado. Un identificador de un canal tiene un ámbito local, por lo que un dispositivo puede asignar identificadores de canal de forma independiente de otros dispositivos, a excepción de que necesite usar identificadores reservados. El mismo CID no puede utilizarse simultáneamente para identificar múltiples canales simultáneos entre un dispositivo local y uno remoto.
- Datos: Contendrá los datos recibidos y enviados a la capa de red, además señalar que la MTU limitará el tamaño de este campo de carga útil.

Establecimiento de canales en L2CAP

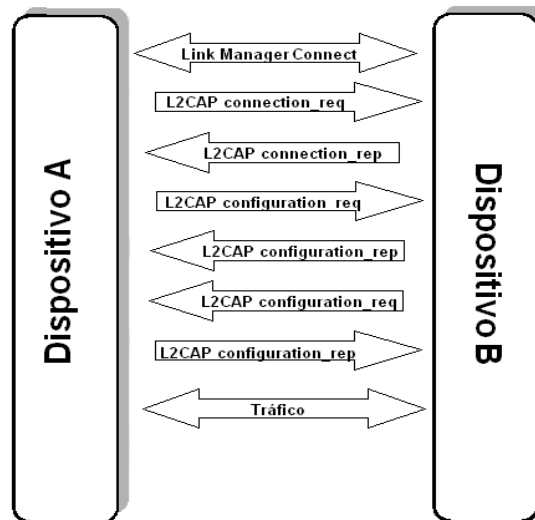


Figura 2. 13. Intercambio información entre dispositivos, canales L2CAP

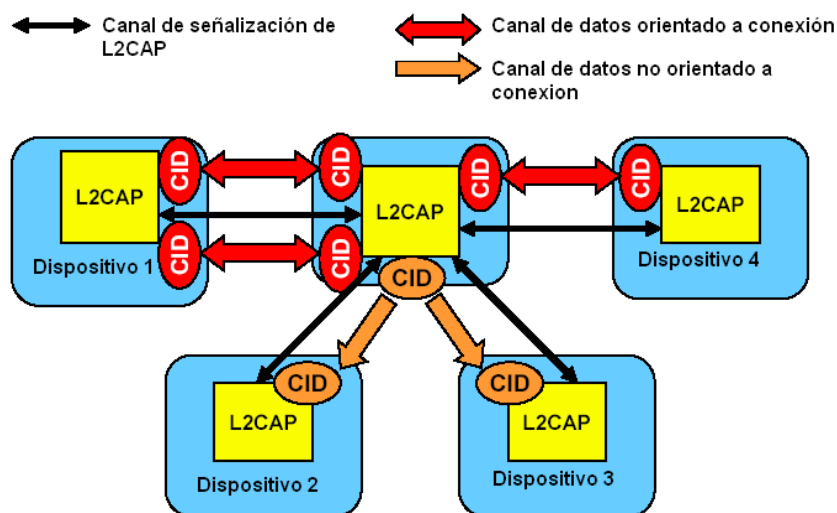


Figura 2. 14. Interconexión varios dispositivos mediante protocolo L2CAP

Multiplexación de protocolos

L2CAP debe soportar multiplexación de protocolos, debido a que el protocolo de banda base es incapaz de distinguir a los protocolos de orden superior.

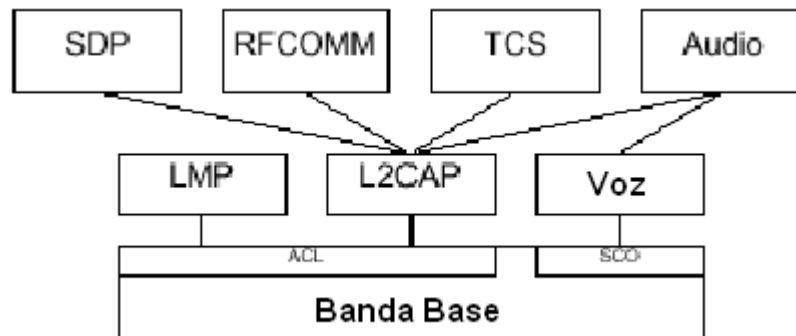


Figura 2. 15. Multiplexación de protocolos

- Fragmentación y reensamblaje

Los paquetes definidos en la banda base tienen cierta limitación de tamaño. Si se usa este tamaño de paquete con los protocolos de orden superior, resultaría un uso ineficiente del ancho de banda, debido a que los protocolos superiores están diseñados para trabajar con paquetes de tamaño mucho mayor.

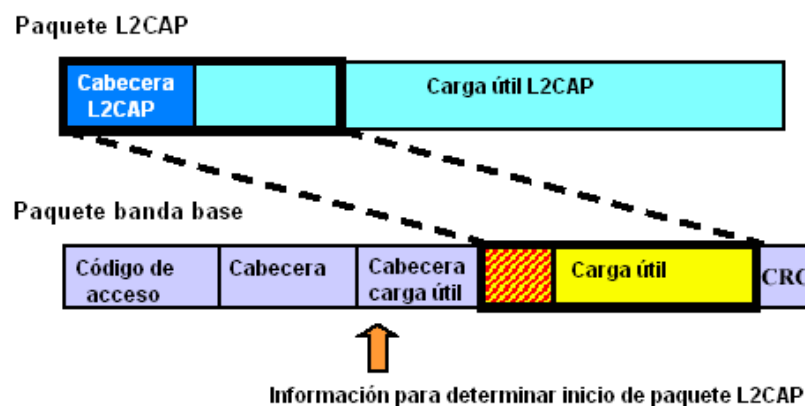


Figura 2. 16. Comparación paquetes L2CAP y Banda base

Por lo que L2CAP debe actuar de intermediario entre la banda base y el resto de protocolos superiores. Cuando L2CAP recibe múltiples paquetes que tienen como origen la banda base L2CAP **reensambla** esta multitud de paquetes en uno sólo y de mayor tamaño llamado *paquete L2CAP* utilizando una comprobación de integridad durante el ensamblado. En el caso de que L2CAP reciba paquetes de tamaño más grande que provienen de capas superiores L2CAP debe **fragmentar** éstos de manera que no excedan el tamaño permitido de la banda base. A continuación vemos un ejemplo de ensamblaje y fragmentación:

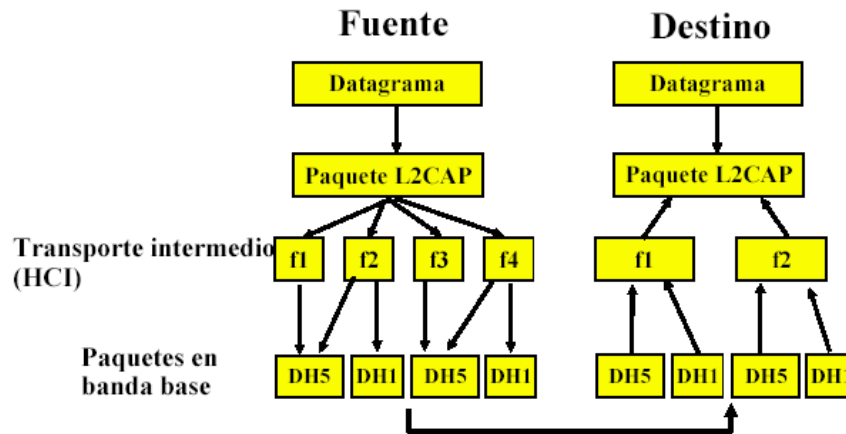


Figura 2. 17. Fragmentación y reensamblaje de paquetes L2CAP

- Calidad de servicio

La calidad de servicio permite el control del buen uso de recursos existentes por parte de los canales. L2CAP permite el intercambio de información teniendo en cuenta la calidad de servicio (QoS) esperada entre dos unidades Bluetooth y así monitorizar que no se violen los contratos de calidad de servicio existentes.

Podemos tener dos tipos de calidad de servicio o el de Best Effort (el mejor esfuerzo) o el llamado guaranteed. Las opciones configurables de calidad servicio son el ratio de tokens, latencia, tamaño del pozal, los picos de ancho de banda de la aplicación o las variaciones de retraso.

2.4.5 SDP: Service Discovery Protocol

SDP proporciona un mecanismo que permite a las aplicaciones descubrir cuales son los servicios disponibles en su entorno y determinar las propiedades específicas de éstos. Los servicios disponibles cambian continuamente debido al dinamismo existente en el entorno, por lo que la búsqueda de servicios en Bluetooth difiere de la búsqueda de servicios en un red fija tradicional.

SDP debe proporcionar las siguientes funcionalidades en su versión 1.0:

- SDP debe permitir la búsqueda de servicios basados en atributos específicos
- SDP debe permitir que los servicios sean descubiertos basándose en la clase de servicio.
- SDP debe permitir averiguar las características de un servicio sin tener conocimiento a priori de dicho servicio..
- SDP debe proporcionar medios para descubrir nuevos servicios (proximidad de un nuevo dispositivo, arranque de una aplicación) así como para indicar la no disponibilidad de servicios inicialmente visibles.
- SDP debe permitir el almacenar información sobre servicios de forma temporal para mejorar la eficiencia del protocolo.

- SDP debe descubrir la información de los servicios de forma incremental para evitar las transferencias excesivas de información sobre servicios no vayan a utilizarse.
- SDP proporcionar complejidad adecuada para ser utilizado en dispositivos con prestaciones limitadas.

No obstante SDP debe proporcionar los siguientes servicios en las sucesivas versiones:

- No se proporciona acceso a los servicios, sólo acceso a la información sobre los servicios.
- No aparece negociación de parámetros de servicio.
- No se proporcionan mecanismos para la tarificación por el uso de los servicios.
- No se proporciona al cliente la capacidad de controlar o cambiar la operación de un servicio.
- No se proporciona notificación de eventos para los casos en que los servicios no estén disponibles o cuando se modifican los atributos de los servicios.
- SDP 1.0 no define un API (Application Programming Interface).
- No se soportan agentes que realicen funciones tales como darse de alta en un servicio.

- Registro de un servicio

El registro de servicio está formado por un conjunto de atributos que describen un servicio determinado. Existen dos tipos de atributos, los llamados *atributos universales* que son comunes a todos los tipos de servicio y los llamados *atributos específicos* que tal como indica el nombre son específicos a una clase de servicio.

Cada atributo de un registro de servicio consta de dos partes, un identificador de propiedad y un valor de propiedad. El identificador de propiedad es un único número de 16 bits que distingue cada propiedad de servicio de otro dentro de un registro. El valor de propiedad es un campo variable que contiene la información.

Un servidor SDP estructura los servicios en registros y mantiene una lista de apuntadores (Service Record Handle) a cada uno de ellos.

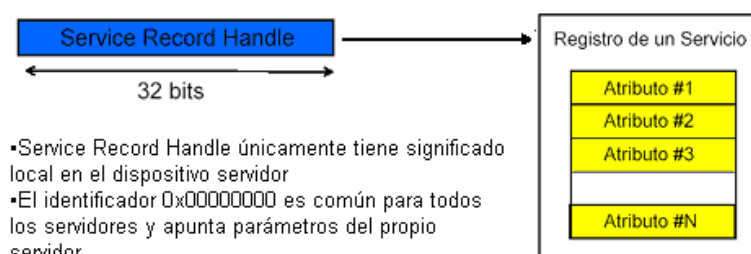


Figura 2. 18. Estructura de los servicio en un servidor SDP

- Funcionamiento de SDP

Tal como se ve en la figura, la comunicación SDP implica un servidor SDP y un cliente SDP. Se pueden dar dos escenarios posibles para que el cliente realice una petición de un servicio.

- 1) El cliente busca un servicio en un dispositivo en particular al cual el usuario se ha conectado “conscientemente”.
- 2) El cliente realizando conexiones “inconscientemente” con los dispositivos vecinos.

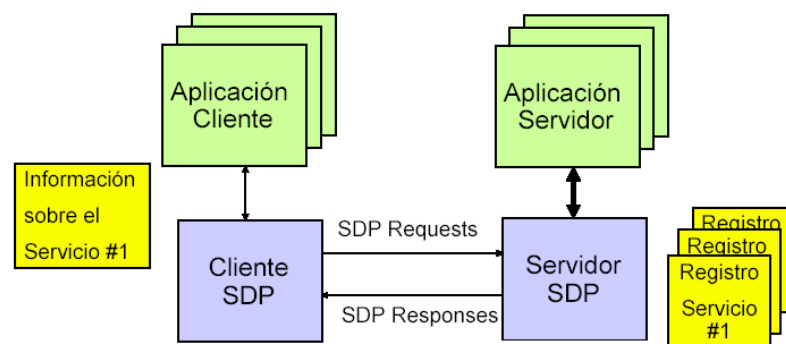


Figura 2. 19. Funcionamiento de SDP

Vistos estos dos escenarios se pueden definir varios mensajes de petición /repuesta por parte tanto del cliente como del servidor:

Mensajes de petición del cliente:

- a) Petición de búsqueda de servicio: el cliente genera una petición para localizar los registros de servicio que concuerden con un patrón de búsqueda dado como parámetro.
- b) Petición de propiedad de servicio: Una vez el cliente ya ha recibido los servicios deseados, puede obtener mayor información de unote ellos dando como parámetros el registro de servicio y la lista de propiedades deseadas.
- c) Petición de búsqueda y propiedad de servicio: se suministran un patrón de servicio con servicios deseados y una lista de propiedades deseadas que concuerden con la búsqueda.

Mensajes de respuesta del servidor:

- a) Repuesta a búsqueda de servicio: se genera por el servidor después de recibir uan petición de búsqueda de servicio válida.

- b) Respuesta a propiedad de servicio: el SDP genera una respuesta a una petición de propiedad de servicio. Ésta contiene una lista de propiedades de registro requerido.
- c) Respuesta de búsqueda y propiedad de servicio: como resultado se puede obtener una lista de servicios que concuerden con un patrón dado y las propiedades deseadas de estos servicios.

Algunas apreciaciones sobre el funcionamiento es que un dispositivo Bluetooth puede actuar tanto cliente SDP como servidor SDP. Otro aspecto importante es que cuando el servidor deja de estar en la zona de acción del cliente, no realiza ninguna notificación vía SDP, por lo que el cliente en este caso deducirá que no está porque ya no recibe las respuestas del servidor ante sus continuas peticiones.

2.4.6 RFCOMM

El protocolo RFCOMM permite emular el funcionamiento de los puertos serie sobre el protocolo L2CAP. Se basa en el estándar ETSI TS 07.10, tomando de éste un subconjunto con las partes más relevantes y realizando algunas adaptaciones.

RFCOMM permite emular los nueve circuitos de la norma RS-232(ETIATIA-232.E). Soporta hasta 60 conexiones simultáneas entre dos dispositivos Bluetooth.



Figura 2. 20. Conexión simultánea mediante protocolo RFCOMM

Ante una configuración RFCOMM nos encontramos básicamente con dos tipos de dispositivos:

- Tipo 1: Se trata de dispositivos terminales de comunicación, como los ordenadores las impresoras.
- Tipo 2: Son aquellos que forman parte de un segmento de comunicación, como por ejemplo, los módems.

RFCOMM no hace distinción entre ambos tipos, pero el acomodarse a ellos tiene sus consecuencias en el protocolo. Por lo tanto, la transferencia de información entre dos entidades RFCOMM se define tanto para los dispositivos tipo 1 y 2. Una parte de la información sólo se necesitará para el segundo tipo, mientras que otra se pretende que sea usada por ambos. Debido a que un dispositivo no es consciente del tipo del

otro dispositivo en el camino de comunicación, cada uno debe pasar toda la información disponible especificada por el protocolo.

- Emulación de múltiples puertos serie

Entre dos dispositivos

Dos dispositivos Bluetooth usando RFCOMM en su comunicación pueden abrir múltiples puertos serie. RFCOMM soporta hasta 60 puertos emulados abiertos, aunque esto es fuertemente dependiente de la implementación específica.

El identificador de Conexión de Datos de Enlace (DLCI) será el encargado de identificar la conexión entre una aplicación cliente y una servidora. El DLCI se representa con 6 bits pero su rango útil es [2,61], debido a que en TS 07.10 DLCI = 0 es el canal de control dedicado, DLCI = 1 no es útil y DLCI = 62-63 se encuentran reservados. El DLCI es único para una sesión RFCOMM establecida entre dos dispositivos. Para tener en cuenta que tanto la aplicación cliente como la servidora pueden residir en ambos lados de una sesión RFCOMM, con clientes en cualquier extremo realizando conexiones independientes, el valor del DLCI se divide entre los dos dispositivos que se comunican.

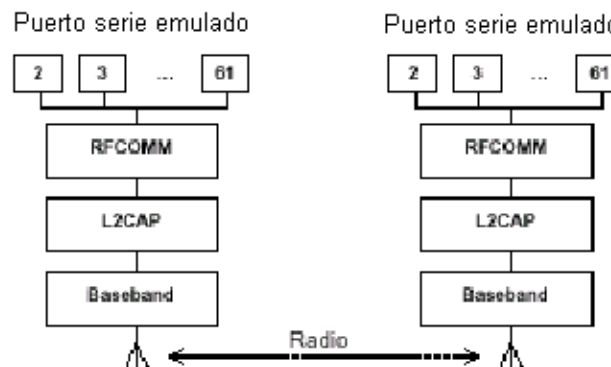


Figura 2. 21. Apertura puertos series mediante RFCOMM

Con múltiples dispositivos Bluetooth

Si un dispositivo Bluetooth soporta emulación de múltiples puertos serie y las conexiones realizadas son con puntos terminales en diferentes dispositivos Bluetooth, entonces la entidad que implementa RFCOMM debe ser capaz de correr múltiples sesiones TS 07.10 multiplexadas, cada una con su propio identificador de canal L2CAP.

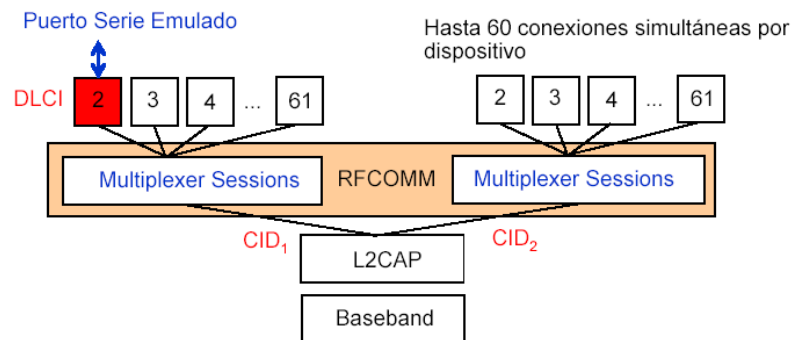


Figura 2. 22. Multiplexación de sesiones en RFCOMM

Esta capacidad de multiplexación es un elemento opcional a la hora de implementar RFCOMM, según la Especificación de Bluetooth.

2.6 SEGURIDAD EN BLUETOOTH

Las radiaciones procedentes de los dispositivos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth no son mayores que las de los teléfonos inalámbricos estándar. El módulo Bluetooth no interferirá ni causará ningún daño a los equipos de redes de telecomunicaciones públicas o privadas, ni pondrá en peligro la seguridad del consumidor que utilice el equipo o a los que hallen dentro del enlace de funcionamiento de los dispositivos Bluetooth

La especificación Bluetooth incluye numerosas características de seguridad. Además de su enlace limitado y la utilización de saltos de frecuencia, que hace que la interceptación de la señal sea de entrada extremadamente difícil, la especificación Bluetooth emplea funciones de nivel de enlace, como la autenticación y cifrado. La autenticación evita el acceso no deseado a datos y funciones críticos y protege contra la suplantación por parte de hackers que intenten hacerse pasar por usuarios autorizados. El cifrado codifica los datos durante la transmisión para evitar escuchas y mantener la privacidad del enlace. Además la tecnología inalámbrica Bluetooth incluye la generación de una clave de sesión que se puede cambiar en cualquier momento durante una conexión. Incluso en el caso improbable de que un hacker pueda interceptar una conexión, no podrá permanecer en la picorred mucho tiempo.

La seguridad es importante no solo para asegurar la privacidad de sus mensajes y archivos a medida que viajan por el aire, sino también para asegurar la integridad de las transacciones de comercio electrónico. De igual manera, la especificación Bluetooth también ofrece una arquitectura de seguridad flexible, que hace posible garantizar el acceso a los dispositivos y servicios “confiables”, sin proporcionar acceso a otros dispositivos y servicios no fiables.

Nokia es una de las compañías que apoya la idea de la utilización de teléfonos y computadoras de mano equipados con tecnología inalámbrica Bluetooth como “dispositivos confiables personales”, con los que los consumidores puedan cargar “dinero” en un monedero electrónico desde un cajero automático y pagar una mercancía en el punto de venta, ya sea en un comercio o en una máquina expendedora.

En la arquitectura de seguridad Bluetooth, los dispositivos desconocidos o no confiables puede que requieran una autorización basada en algún tipo de interacción del usuario, antes de que e les otorgue acceso. Los dispositivos confiables son aquellos que han sido autenticados previamente y a los que se les ha permitido que tengan acceso basándose en su clave de nivel de enlace. Para esos dispositivos, la clave de enlace puede almacenarse en la base de datos de dispositivos, e identifica a ese dispositivo como confiable para futuros intentos de acceso.

La arquitectura de seguridad de la especificación Bluetooth sólo autentica dispositivos, no usuarios. Esto significa que un dispositivo confiable que sea robado o prestado se puede utilizar como si todavía estuviera en posesión del dueño verdadero. Si hay una necesidad de autenticación del usuario, se deben emplear métodos de seguridad suplementarios de nivel de aplicación, como la introducción de un nombre

de usuario y contraseña, como sería el caso si se utilizara para transacciones móviles de comercio electrónico.

A continuación se comentarán los fundamentos de la seguridad en Bluetooth en lo referente a las capas bajas de esta tecnología.

El Perfil de Acceso Genérico Bluetooth, que es un marco en el cual se centran todos los demás perfiles, define tres modos de seguridad:

- Modo de seguridad 1: no seguro.
- Modo de seguridad 2: seguridad impuesta a nivel de servicio.
- Modo de seguridad 3: seguridad impuesta a nivel de enlace.

En el modo 1 no se iniciará ningún proceso de seguridad.

En el modo de seguridad 2 el dispositivo Bluetooth inicia el procedimiento de seguridad después de que el canal haya sido establecido (capas altas de la pila de protocolos).

En el modo de seguridad 3 el dispositivo Bluetooth inicia el procedimiento de seguridad antes de que el canal haya sido establecido (capas bajas de la pila de protocolos).

Además, existen dos posibilidades en el acceso de dispositivos a diferentes servicios:

- Dispositivos de confianza
- Dispositivos de no confianza

Los primeros tienen acceso sin restricción a todos los servicios, mientras que los segundos tienen acceso limitado.

Los servicios también pueden ser catalogados en tres niveles de seguridad:

- Servicios abiertos, a los cuales puede acceder cualquier dispositivo.
- Servicios que requieren sólo autenticación, a los cuales puede acceder cualquier dispositivo que se haya autenticado, puesto que habrá demostrado que comparte una clave de enlace con el proveedor del servicio.
- Servicios que requieren autenticación y autorización, a los cuales sólo tendrán acceso aquellos dispositivos que sean de confianza (y así estarán marcados en la base de datos del servidor).

Para conseguir seguridad, tanto en el acceso a otros dispositivos Bluetooth como en la transmisión de la información entre ellos, es necesario un complejo entramado de seguridad que afiance estos dos aspectos.

El sistema puede proveer seguridad tanto a nivel de aplicación como a nivel de enlace. Es este último el que se tratará en este artículo.

Para mantener la seguridad a nivel de enlace, cuatro son los parámetros utilizados:

- La dirección del dispositivo Bluetooth (BD_ADDR).

- La clave de usuario privado de autenticación.
- La clave de usuario privado de cifrado.
- Un número aleatorio (RAND).

La BD_ADDR tiene una longitud fija de 48 bits y es única para cada dispositivo Bluetooth, siendo asignada por el IEEE.

La clave de autenticación tiene una longitud fija de 128 bits, mientras que la de cifrado, que normalmente se obtiene a partir de la de autenticación, durante el proceso de autenticación, tiene una longitud variable, entre 1 y 16 octetos, es decir entre 8 y 128 bits.

El número aleatorio vendrá derivado de un proceso aleatorio o pseudo-aleatorio que tendrá lugar en la unidad Bluetooth. Este parámetro cambiará frecuentemente.

Gestión de claves

Tipos de claves

La clave de autenticación, llamada comúnmente clave de enlace, es un número aleatorio de 128 bits que es compartido entre dos a más dispositivos siendo la base de todas las transacciones entre ellos, ya que además de ser usada en la rutina de autenticación, también es usada como uno de los parámetros de la generación de la clave de cifrado.

Las claves de enlace son semi-permanentes o temporales. Las primeras son almacenadas en memoria no volátil y pueden ser usadas después de que la sesión actual ha finalizado.

Téngase en cuenta que sesión se define como el intervalo de tiempo en el cual una unidad Bluetooth es miembro de una determinada piconet, y por lo tanto, la sesión finaliza cuando la unidad se desconecta de la misma. Por consiguiente, una vez que se ha definido una clave semi-permanente, puede continuar siendo usada como clave de enlace en siguientes sesiones entre las unidades involucradas, es decir entre las unidades que la utilizaron en un primer momento. La designación semi-permanente viene dada por la posibilidad que existe de cambiarla.

La clave temporal por otra parte está caracterizada porque su periodo de vida expira cuando finaliza la sesión actual.

Han sido definidas cuatro tipos de claves de enlace:

- La clave de combinación KAB.
- La clave unitaria KA.
- La clave temporal o clave maestra Kmaster.

- La clave de inicialización Kinit.

Además de éstas, hay también una clave de encriptación KC , la cual se deriva de la clave de enlace actual. Siempre que la encriptación es activada por un comando del Gestor de Enlace, la clave de encriptación se cambiará automáticamente. La razón de separar la clave de autenticación y la de cifrado es facilitar el uso de una clave de cifrado más corta sin por ello debilitar la potencia de autenticación.

La clave unitaria KA es generada en cada dispositivo Bluetooth y en consecuencia sólo depende de una única unidad A.

La clave de combinación KAB deriva de información de las dos unidades involucradas en la comunicación A y B, y en consecuencia dependerá de ellas dos. Esta clave por lo tanto se genera de cada nueva combinación de dos dispositivos Bluetooth.

La clave temporal Kmaster se utilizará solamente durante la sesión en curso, suplantando a la clave original sólo temporalmente. Este tipo de clave se suele utilizar cuando una unidad Bluetooth actuando como maestro desea contactar simultáneamente con varios esclavos utilizando la misma clave de encriptación.

La clave de inicialización Kinit se usa como clave de enlace durante el proceso de inicialización, cuando todavía no se han creado ni intercambiado claves unitarias ni clave de combinación, o han sido perdidas. Esta clave protege la transferencia de parámetros de inicialización, y es generada a partir de un número aleatorio, un código PIN de 8 octetos y una BD_ADDR. Esta clave sólo es utilizada durante la inicialización.

2.7 Perfiles Bluetooth

Son un conjunto de mensajes y procedimientos de la especificación Bluetooth para una situación de uso concreta del equipo. Los perfiles se encuentran asociados con las aplicaciones. Los perfiles permiten que no sea necesario implementar en un determinado dispositivo toda la pila de protocolos, sólo la parte que va a necesitar. Si el dispositivo tiene muy poca memoria y/o capacidad de procesamiento y implementamos en él toda la pila de protocolos con la carga de proceso y espacio que ello implica puede que provoquemos que el dispositivo sea totalmente ineficiente para la comunicación, por ejemplo ratones, auriculares.

Además de la ventaja anterior el concepto de perfil se utiliza para asegurar la interoperabilidad entre varias unidades Bluetooth que cumplan los mismos perfiles. Cada dispositivo Bluetooth tiene al menos un perfil, es decir, una aplicación para la cual se puede utilizar el dispositivo. Cuando dos dispositivos deben ínter operar, es decir, comunicarse entre ellos, deben tener un perfil compartido. Si por ejemplo quiere transferir un archivo desde un ordenador preparado para Bluetooth a otro, ambos ordenadores deben admitir el perfil de transferencia de archivos.

Todos los dispositivos Bluetooth deben soportar el perfil de acceso genérico (Generic Access Profile) como mínimo. Este perfil en particular define el descubrimiento o hallazgo de dispositivos, procedimientos de conexión y procedimientos para varios niveles de seguridad. También se describen algunos requerimientos de interfaz al usuario. Otro perfil universal, aunque no es requerido, es el perfil de acceso a descubrimiento de servicios (Service Discovery Access Profile), el cual define los protocolos y parámetros asociados requeridos para acceder a los perfiles. Un número de perfiles han sido definidos incluyendo TCS, RFCOMM y OBEX. Algunos de estos requieren la implementación de otros, y todos ellos requieren la implementación de perfiles genéricos.

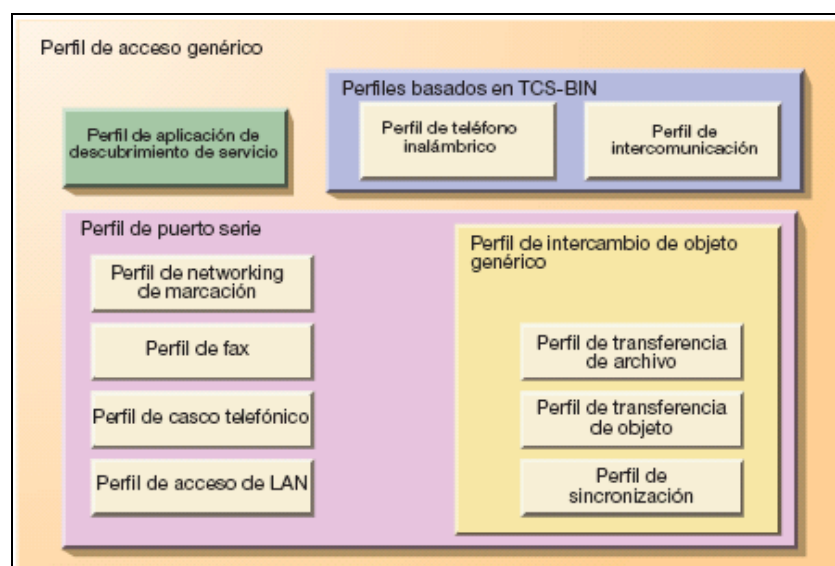


Figura 2. 23. Perfiles Bluetooth

2.7.1 Perfil de acceso genérico. (GAP).

Este perfil define los procedimientos generales para el descubrimiento y establecimiento de conexión entre dispositivos Bluetooth. El GAP maneja el descubrimiento y establecimiento entre unidades que no están conectadas y asegura que cualquier par de unidades Bluetooth, sin importar su fabricante o aplicación, puedan intercambiar información a través de Bluetooth para descubrir qué tipo de aplicaciones soportan las unidades. También define aspectos relacionados con los niveles de seguridad

2.7.2 Perfil de Aplicación del Descubrimiento de Servicio (SDAP).

Este define las características y los procedimientos que un dispositivo Bluetooth usa para descubrir los servicios registrados en otros dispositivos de Bluetooth y para recuperar cualquier información disponible deseada pertinente a estos servicios. El SDAP es dependiente del GAP.

2.7.3 Perfil de Puerto Serie. (SPP)

El Serial Port Profile (SPP) define los requerimientos específicos para posibilitar la emulación del puerto serie en los dispositivos Bluetooth usando el protocolo RFCOMM entre parejas de dispositivos.

2.7.4 Perfil genérico de intercambio de objetos. (GOEP)

Este perfil define como los dispositivos Bluetooth deben soportar los modelos de intercambio de objetos, incluyendo el perfil de transferencia de archivos, el de carga de objetos y el de sincronización. Los dispositivos más comunes que usan este perfil son las agendas electrónicas, PDAs y teléfonos móviles.

2.7.5 Perfil de Teléfono Inalámbrico.

Este perfil define como un teléfono móvil puede ser usado para acceder a un servicio de telefonía de red fija a través de una estación base. Es usado para telefonía inalámbrica de hogares u oficinas pequeñas. El perfil incluye llamadas a través de una estación base, haciendo llamadas de intercomunicación directa entre dos terminales y accediendo adicionalmente a redes externas. Es usado por dispositivos que implementan el llamado “teléfono 3-en-1”.

2.7.6 Perfil de Intercomunicación. (IP)

El Intercom Profile (IP) define los requerimientos necesarios por parte de los dispositivos Bluetooth para soportar comunicaciones entre parejas de teléfonos con soporte Bluetooth. Estos requerimientos son expresados en términos de servicios para el usuario final. Popularmente, este perfil se conoce con el nombre de "Walkie-Talkie".

2.7.7 Perfil de acceso telefónico a redes o perfil de networking de marcación (DNP)

Este perfil define los protocolos y procedimientos que deben ser usados por dispositivos que implementen el uso del modelo llamado Puente Internet. Este perfil es aplicado cuando un teléfono o modem es usado como un modem inalámbrico.

2.7.8 Perfil de FAX.(FP)

El perfil Fax Profile define los requerimientos necesarios para que los dispositivos Bluetooth adquieran soporte de transferencia de Fax. Permitirá que teléfonos Bluetooth puedan enviar y recibir faxes.

2.7.9 Perfil de Manos Libres o de casco telefónico.

Este perfil define los requerimientos, para dispositivos Bluetooth, necesarios para soportar el uso de manos libres. En este caso el dispositivo puede ser usado como unidad de audio inalámbrico de entrada/salida. El perfil soporta comunicación segura y no segura.

2.7.10 Perfil de Acceso a LAN.(LAP)

El perfil de acceso a LAN define cómo pueden acceder a los servicios de una LAN mediante el protocolo PPP, los dispositivos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth. De esta manera pueden crearse puntos de acceso inalámbricos.

2.7.11 Perfil de Transferencia de Archivos.

Este ofrece la capacidad de transferir un archivo de un dispositivo Bluetooth a otro, inclusive permite navegar por el contenido de las carpetas del dispositivo.

2.7.12 Perfil de Transferencia de Objetos

Este ofrece la capacidad de transferir un objeto de un dispositivo Bluetooth a otro.

2.7.13 Perfil de Sincronización.

Este perfil provee sincronización dispositivo a dispositivo de programas de gestión de información personal, como agendas telefónicas, calendario, mensajes y notas de información.

2.8 APLICACIONES BLUETOOTH

2.8.1 Aplicaciones

La especificación Bluetooth le permite conectarse a una amplia gama de dispositivos informáticos y de telecomunicaciones de una forma sencilla y simple, sin necesidad de comprar, llevar o conectar cables. Ofrece oportunidades de realizar conexiones rápidas ad hoc, y hace posible las conexiones automáticas entre dispositivos. Eliminará virtualmente la necesidad de eliminar cableado adicional o especializado para conectar dispositivos individuales. Como la tecnología inalámbrica Bluetooth se puede utilizar para una gran variedad de propósitos, también reemplaza a múltiples tipos de conexiones de cable con un solo enlace de radio. Le permitirá concentrarse en aquello en lo que esté trabajando, en lugar de cómo conectar todo para hacer que la tecnología funcione. Sin olvidar su impacto en la forma de realizar los procesos, al sustituir los medios convencionales y posibilitar nuevos negocios y aplicaciones.

2.8.2 Presentaciones

Hacer una presentación con Power Point, por ejemplo, ya no requerirá un lío de cables entre el proyecto, el portátil y la impresora. Simplemente tendrá que colocar el portátil cerca del proyector, encender ambos, y esperar unos instantes a que se comuniquen los necesarios parámetros de funcionamiento. A través del mismo enlace de radio, el portátil podría enviar peticiones de impresión a una impresora cercana, permitiendo la distribución de material de referencia para los asistentes. Para grupos pequeños, se puede enviar la presentación a los portátiles de los asistentes que utilicen la tecnología inalámbrica Bluetooth. Esto permitiría que las reuniones se celebraran en cualquier habitación, sin necesidad de una pantalla de proyección, controles de iluminación especiales, o disposiciones especiales de asientos.

2.8.3 Escaneado de tarjetas

Con un escáner de tarjetas de visita que utilice la especificación Bluetooth, puede escanear tarjetas en su propia computadora o en cualquier otra computadora que se halle dentro del alcance de 10 metros, sin tener que pasar por la molestia de conectar, desconectar y volver a conectar cables entre los equipos. Como puede que el escáner de tarjetas de visita no se utilice con mucha frecuencia, se puede conseguir un ahorro de coste significativo compartiendo el dispositivo de forma inalámbrica entre un grupo de usuarios.

2.8.4 Trabajo en grupo

Con un software especial que convierte a los portátiles , computadoras de mano, o dispositivos con Windows CE que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth en un bloc de dibujo, puede utilizar un lápiz como dispositivo de entrada para hacer anotaciones o dibujar en archivos Word, mensajes de correo electrónico , fotografías JPEG o cualquier aplicación basada en Windows. En lugar de reunir a gente en un sitio y que todo el mundo esté liado con el lápiz y el papel, las marcas que haga con su lápiz en un dispositivo se transmitirán a través de conexiones inalámbricas y permanentes a los otros dispositivos, permitiendo el trabajo en grupo entre una serie de usuarios. Los cambios permanecen en pantalla, lo que permite que el documento modificado se guarde en cada dispositivo, o se adjunte en un mensaje de correo electrónico.

2.8.5 Sincronización de datos

Un truco interesante que pueden realizar los dispositivos Bluetooth es el envío de mensajes a dispositivos apagados o en modo de reposo. Por ejemplo, cuando un teléfono móvil recibe un mensaje, puede enviarlo a una computadora portátil, incluso hasta que esta última se halle metida en un maletín y apagada. Desde luego, esta tecnología también puede utilizarse para sincronizar datos entre dispositivos, con lo que nos aseguramos de tener la última versión disponible, independientemente de qué dispositivo hayamos elegido.

La sincronización automática puede ser realmente un ahorro de tiempo. Cuando haya acabado de agregar información a su computadora de mano en su casa, todo lo que tiene que hacer es ir a trabajar a su despacho en la empresa para cargar esos archivos en su PC de escritorio. Cuando se marche de la oficina, cualquier archivo nuevo que se haya agregado a su PC de escritorio se copiará automáticamente a la computadora de mano. Cuando llegue a casa por la noche, la computadora de mano cargará automáticamente la nueva información en su portátil tan pronto como los dos dispositivos entren dentro del radio de acción. No tiene que hacer nada: el enlace simplemente se produce de manera automática. Con la sincronización automática, ya no hay ninguna confusión sobre qué archivo está en qué equipo: la especificación Bluetooth garantiza que tenga la información más actualizada, independientemente de qué dispositivo utilice en un momento dado.

2.8.6 Sincronización remota

La sincronización también funciona entre los dispositivos de múltiples usuarios enlazados mediante RTGC. Digamos que se ha cambiado de hora una importante reunión mientras estábamos de viaje. De vuelta a la oficina, nuestro jefe nos envía los cambios desde una estación de trabajo a nuestro móvil, que se conecta automáticamente con la agenda y actualiza la cita. La próxima vez que encendamos nuestra agenda, esta nos alertará inmediatamente del cambio.

Al eliminar las conexiones físicas, la especificación Bluetooth elimina la diferencia entre informática móvil y fija: los dispositivos están “conectados” donde quiera que se hallen. En un tren, por ejemplo, la tecnología inalámbrica Bluetooth le permitiría conectar un portátil o una computadora de mano a Internet vía un teléfono móvil en su maletín, mientras que en la oficina, el enlace se realizaría a través de un punto de acceso que ofrezca una conexión inalámbrica a la LAN de la empresa.

2.8.7 Impresión

Considere escenarios aún más lejanos: con la tecnología inalámbrica Bluetooth, su cámara digital podría enviar una fotografía directamente a su impresora. O segundos después de que haya hecho una foto a sus hijos en el zoo, la cámara digital podría enviar la imagen al móvil de su bolsillo, el cual luego podría enviar la foto adjunta a un correo electrónico a casa de sus parientes y amigos.

2.8.8 Sistemas incorporados en automóviles

En un futuro próximo, la especificación Bluetooth permitirá a una gama de dispositivos digitales compartir información de forma inalámbrica dentro de un automóvil: desde teléfonos móviles y buscapersonas a computadoras de mano y otros dispositivos. Entre las compañías que ofrecen esos sistemas se halla Johnson Controls.

El dispositivo TravelNote Connect de esa compañía es una grabadora digital TavelNote modificada que integra tecnología inalámbrica Bluetooth. TravelNote es un dispositivo digital de grabación/reproducción que se puede integrar en el salpicadero de un vehículo o en el cuadro de control. Permite al pasajero del asiento delantero grabar, guardar y reproducir mensajes de “recordatorio”. Al agregar un componente con tecnología inalámbrica Bluetooth, el dispositivo puede hacer cosas tales como conseguir un número de teléfono del teléfono portátil y marcarlo automáticamente, de forma que el conductor no tenga que apartar sus manos del volante. Cuando se establece la conexión, el componente Bluetooth crea un enlace inalámbrico de voz con el teléfono celular, proporcionando capacidad manos libres al volante.

Este producto y otros similares de otros fabricantes tienen la capacidad de hacer de cada teléfono móvil un teléfono con manos libres en un futuro próximo, sin

complicadas modificaciones o costosas instalaciones en el interior de un vehículo. Como todos los dispositivos que utilizan la tecnología inalámbrica Bluetooth pueden hablar con otro dispositivo similarmente equipado, se pueden mezclar y emparejar productos para su uso en el vehículo, independientemente del modelo, marca, fabricante o sistema operativo.

2.8.9 Plataformas de comunicación

Las plataformas de comunicación del futuro combinarán una serie de tecnologías y características en un solo dispositivo, incluyendo navegación por Internet, mensajería, imágenes, aplicaciones y servicios dependientes de la localización, telefonía móvil, gestión de información personal y aplicaciones empresariales. Con estos dispositivos móviles de información integrados, podrá aprovecharse plenamente de las comunicaciones Internet y multimedia móviles, incluyendo voz, datos e imágenes.

Ericsson se halla entre las compañías que ofrecerán plataformas de comunicación integradas capaces de soportar transferencia de datos de alta velocidad, voz a tres bandas y acceso a Internet. La interfaz de usuario está basada en un formato VGA, que Ericsson piensa que es el tamaño ideal para los dispositivos y aplicaciones de comunicaciones. El dispositivo tiene una pantalla táctil a color, que permite una navegación fácil, entrada de datos mediante un dispositivo apuntador y reconocimiento de escritura. Con un receptor GPS integrado, la plataforma ofrece información de su posición. Con los componentes Bluetooth y de infrarrojos integrados, la plataforma puede comunicarse de forma inalámbrica con otros dispositivos, redes y aplicaciones de terceros.

2.8.10 Libros electrónicos

Ahora que los libros electrónicos se están haciendo populares, puede adquirir libros en la Web, en librerías en línea, y descargarlos a su computadora de escritorio o al portátil. Básicamente, su computadora se convierte en una biblioteca electrónica en la que puede seleccionar volúmenes específicos para llevárselos en sus viajes de vacaciones o de negocios. Por medio de un programa de biblioteca que gestiona los títulos en su computadora, puede transferir cualquier volumen electrónico (así como sus propios documentos) a un dispositivo especial de lectura llamado libro electrónico o “ebook”, que se conecta a una estación de acoplamiento enlazada por cable a su computadora. El “ebook” es un dispositivo portátil alimentado por baterías que pesa tan solo 627 gramos. Tiene una iluminación trasera blanca para facilitar la lectura de los textos. Cuando se mejoren estos ebooks con la tecnología inalámbrica Bluetooth, podrá transferir títulos preseleccionados entre los dispositivos simplemente colocando el ebook dentro del enlace de la computadora en la que esté su biblioteca.

2.8.11 Viajes

Si viaja frecuentemente en avión, la especificación Bluetooth le ofrece algunas ventajas para conseguir billetes. Puede llegar al aeropuerto y comprar un billete simplemente pasando junto a un terminal inalámbrico, que confirma su identidad, emite un billete electrónico y lo factura a su tarjeta de crédito. Ya no habrá necesidad de que un auxiliar de vuelo visite a los pasajeros y les pida que apaguen sus dispositivos electrónicos. Después de que la petición sea difundida, el dispositivo maestro Bluetooth de la aeronave apagará automáticamente todos los dispositivos electrónicos durante el despegue y el aterrizaje.

Tras aterrizar en la ciudad de destino, se sube al autobús de la agencia de alquiler de coches en el aeropuerto. Su reserva se transmite automáticamente a la base de datos de la agencia en alquiler de coches, donde se verifica su validez, de manera que el conductor del autobús le podrá dejar junto al coche que le hayan preasignado. Cuando entra en el coche de alquiler, equipado con dispositivos con tecnología inalámbrica Bluetooth, se le pide a su computadora de mano o teléfono móvil su reserva de hotel, y el sistema de posicionamiento global (GOS, Global Positioning System) le ofrece en pantalla la ruta hasta su hotel. Cuando entra en el vestíbulo, se efectúa el registro automáticamente, y el número de su habitación y la llave electrónica se transfieren automáticamente a su dispositivo Bluetooth. Cuando se aproxima a su habitación con las maletas en la mano, la puerta se abre automáticamente. Más tarde, si no se duerme enseguida, puede leer un rato en su ebook.

2.8.12 Entretenimiento doméstico

Si piensa que todo esto es inverosímil, Microsoft prevé el día en el que pueda comprar una TV digital equipada con Bluetooth que le llamará cuando su equipo de fútbol favorito esté a punto de comenzar un partido y le preguntará si desea grabar el partido.

En el hogar hay multitud de aplicaciones para la tecnología inalámbrica Bluetooth. Imagine una simple pizarra electrónica equipada con un transceptor Bluetooth y una pantalla táctil. La pizarra es delgada, ligera y sencilla de utilizar, con un avanzado menú de iconos. La pizarra electrónica no sólo controla todos los dispositivos de entretenimientos del hogar, sino que también controlará los nuevos que también se puedan adquirir en el futuro, poniendo fin a la proliferación de mandos a distancia por infrarrojos.

De acuerdo con Microsoft, podría incluso instalar en su baño unos chips Bluetooth especiales que controlaran la pasta de dientes y el jabón, y le recordaran que comprara más cuando los niveles estuvieran bajos.

2.8.13 Sistemas de pago

Utilizando la tecnología inalámbrica Bluetooth, también será posible enlazar teléfonos móviles y otros dispositivos de mano de forma inalámbrica con surtidores de gasolina, de forma que cuando un conductor llene su depósito, se le restará el importe del combustible de la cuenta de su tarjeta de crédito, a través del dispositivo portátil del cliente. La tecnología inalámbrica Bluetooth se podría utilizar de manera similar para los billetes de ferrocarril, entradas de cine, tickets de aparcamiento y otras compras diarias en quioscos, evitando molestias a los consumidores y disminuyendo los costes de las transacciones para las compañías.

2.8.14 Escáneres

La tecnología inalámbrica Bluetooth también fomenta el desarrollo de productos completamente nuevos. Por ejemplo, el fabricante sueco C Tech ofrece su C Pen, un denominado “recolector móvil de información”, que es un cruce entre una computadora de mano y un escáner de texto. El dispositivo captura texto o gráficos vía un diminuto escáner, y almacena información en su memoria integrada de 8 MB. El C Pen ofrece un conjunto de características similares a una computadora de mano. Por ejemplo, una característica permite al usuario escanear una tarjeta de visita, línea a línea, y luego cargarla en una base de datos de contactos de Microsoft Outlook. Unos diccionarios bilingües le permiten, por ejemplo, traducir del inglés al alemán y viceversa. La compañía espera sacar una versión del C Pen que utilice las tecnologías inalámbricas infrarrojas y Bluetooth. Una versión del C Pen llevaría integrado un puerto Bluetooth inalámbrico, mientras que otra versión tendría un puerto infrarrojo para comunicarse con otras computadoras. El aparato lleva un procesador Intel a 100 MHz y una batería de tres horas, y aun así es lo suficientemente pequeño como para caber en la mano.

2.8.15 Imposición de comportamientos

Los dispositivos inalámbricos Bluetooth se pueden combinar con otras tecnologías para ofrecer posibilidades completamente nuevas, como el poder bajar automáticamente el volumen del timbre o apagar los teléfonos móviles cuando su usuario entre en zona de silencio. La conveniencia y beneficios potenciales de los teléfonos móviles son indiscutibles, pero la casi omnipresencia de esa tecnología está provocando acaloradas discusiones acerca de cuándo y dónde deberían utilizarse. Con más de 80 abonados sólo en los estados Unidos, es inevitable que algún teléfono móvil suene en alguna reunión, servicio religioso o acontecimiento de ocio, causando una interrupción. Se puede utilizar la tecnología inalámbrica Bluetooth para obligar a un uso correcto de los teléfonos móviles en áreas de silencio designadas, permitiendo a los usuarios que tengan sus móviles a mano sin comprometer su buena educación,

mientras los cines y organizadores de reuniones pueden ofrecer la atmósfera tranquila que desean sus clientes.

BlueLinx Inc., una innovadora empresa del mercado inalámbrico con base en Charlotte, NC, ofrece una herramienta que evita que los teléfonos suenen con un volumen elevado en las iglesias, cines y restaurantes. El dispositivo Q-zone patentado por la compañía utiliza la tecnología inalámbrica Bluetooth para crear áreas específicas en las que los dispositivos suenan a menor volumen. Q-zone cambia automáticamente la configuración de los teléfonos móviles y otros pequeños dispositivos electrónicos para que utilicen un volumen de llamada menor o una vibración silenciosa al entrar en áreas específicas, y retorna a la configuración anterior después de que se hayan marchado los usuarios. Funciona a través de unos pequeños nodos instalados por toda la zona de silencio, que forman una red inalámbrica de corto alcance que permite la comunicación directa entre los distintos dispositivos.

2.8.16 Comercio electrónico móvil

La tecnología inalámbrica Bluetooth jugará un papel preponderante en el comercio electrónico. Pronto podrá evitar la cola de los comercios para pagar, o acceder a Internet en cualquier parte mediante su teléfono móvil para hacer un pedido y pagar mercancías y servicios. Mientras que algunos teléfonos móviles ya tienen tarjetas inteligentes (es decir, módulos de identidad del abonado, o módulos SIM, por Subscriber Identity Module) que pueden almacenar dinero electrónico, en realidad nadie desea pasar por la molestia de quitarlos del teléfono para que los lea un terminal punto de venta. Los componentes Bluetooth permitirán que pueda leerse la tarjeta inteligente mientras está en el teléfono o computadora de mano.

Ericsson y Visa Internacional se hallan entre las compañías que desarrollan soluciones de pago para la compra de mercancías y servicios por Internet a través de dispositivos móviles, incluyendo teléfonos móviles y computadoras de mano. Específicamente, las dos compañías quieren ofrecer varias soluciones de pago que utilicen diversos estándares abiertos complementarios, como la especificación Bluetooth y el protocolo WAP (protocolo de aplicaciones inalámbricas), así como el protocolo SET (transacciones electrónicas seguras) y Europay-Maestro-Card-Visa (EMV), para dirigirse a diferentes segmentos de mercado.

El monedero electrónico de Ericsson, que incorpora la tecnología inalámbrica Bluetooth, es una solución de pago para el comercio electrónico móvil. El monedero inalámbrico, que puede servir como sustituto del monedero convencional de monedas y billetes, contiene múltiples lectores de tarjetas inteligentes. Una tarjeta inteligente insertada en el monedero puede comunicarse con un dispositivo móvil que utilice componentes inalámbricos Bluetooth. Se puede utilizar el dispositivo móvil para comprar por Internet, de manera que la tarjeta inteligente apropiada que haya en el monedero electrónico se utilice para el pago.

Visa y otras compañías tecnológicas y del sector de los medios de pago desarrollaron SET como un estándar abierto y global para el comercio electrónico seguro. Basada en la tecnología de cifrado desarrollada por RSA Data Security, permite

a los poseedores de las tarjetas y los comerciantes utilizar un software especial de codificación e identificación, llamados certificados digitales, para autenticarse entre ellos y permitir a los dueños de las tarjetas que envíen de forma segura números de tarjetas de crédito por Internet para efectuar el pago.

EMV es una iniciativa conjunta del sector de los medios de pago para facilitar la introducción de la tecnología de circuitos integrados en los entornos de sistemas de pago internacionales, desarrollando especificaciones conjuntas para tarjetas con circuitos integrados (ICC, Integrated Circuit Cards) y terminales de pago. EMV sirve como marco global para los fabricantes de tarjetas con circuitos integrados y terminales en todo el mundo.

Los estudios del sector predicen que en los próximos 10 años los consumidores confiarán progresivamente en dispositivos distintos a los PC, como el teléfono móvil, para acceder a Internet. Este consorcio se asegurará de que los bancos miembros de Visa puedan ofrecer a los dueños de las tarjetas soluciones de pago seguras para la compra de mercancías y servicios en línea con un teléfono móvil.

La llegada de los teléfonos móviles con capacidades de navegación por la Web permite a los usuarios acceder a Internet y recibir mensajes por radio. Esto ofrece a Visa y sus miembros bancarios una nueva oportunidad para ofrecer servicios útiles y apasionantes a los poseedores de tarjetas mientras éstos viajan.

Un ejemplo de un nuevo servicio hecho posible por esta tecnología es la promoción dirigida de entradas de conciertos o cines. Este servicio hará posible que a los abonados de teléfonos móviles se les notifique un acontecimiento antes de que se agoten las entradas. El usuario puede comprar entradas al momento por Internet por medio de un teléfono móvil capaz de navegar por la Web y que soporte WAP. Las entradas se envían entonces electrónicamente al teléfono, donde se guardan en una tarjeta inteligente. Cuando el usuario llega al cine, las entradas electrónicas de la tarjeta inteligente se presentan mediante una conexión inalámbrica Bluetooth que se establece con el terminal punto de venta del cine.

WAP es una especificación abierta global que permite que los dispositivos móviles accedan e interactúen con información y servicios basados en la Web. Proporciona el middleware necesario que se ejecuta sobre el protocolo IP (Internet Protocol), posibilitando el suministro de contenidos de texto a terminales inalámbricos. El estándar especifica que el contenido debe utilizar el lenguaje WML (Wireless Markup Language, lenguaje de composición inalámbrico), Compatible con XML (eXtensible Markup Language o lenguaje de composición extendido). Todo el contenido WML es accesible a través de Internet utilizando peticiones estándar con HTTP (protocolo de transferencias de hipertexto). Entre los servicios de información más comunes que se suministran de esa manera a dispositivos portátiles compatibles con WAP están los titulares de noticias, marcadores deportivos, horarios aéreos, informes del tiempo y de tráfico, restaurantes locales, carteleras de películas y cotizaciones de bolsa.

Con la tecnología inalámbrica Bluetooth, los comerciantes, al igual que la banca y las finanzas, podrán generar mayores ingresos. Al explotar todo el potencial de mercado del comercio móvil y expandir las soluciones seguras de comercio electrónico móvil, las compañías de todas las clases y tamaños pueden crear nuevas oportunidades de negocio. A este respecto, la especificación Bluetooth representa una dimensión completamente nueva para el comercio electrónico, que cambiará

radicalmente la manera de ver y utilizar los dispositivos inalámbricos y portátiles. Ofrece infinitas oportunidades para aplicaciones como las máquinas expendedoras de productos y entradas, los terminales punto de venta, los cajeros y los parquímetros.



Figura 2. 24. Algunas aplicaciones Bluetooth

2.9 MODELOS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES

Se pretende en las páginas siguientes explicar algunos de los modelos de propagación de ondas en señales radioeléctricas. Se centra el contenido en los modelos para entornos interiores.

Introducción a los modelos

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, por medio de un conjunto de restricciones e hipótesis. Así entonces, un modelo científico se puede definir como el resultado del proceso de generar una representación abstracta de determinados fenómenos naturales. A menudo, los modelos se representan con dibujos, gráficos, ecuaciones, estructuras bidimensionales o tridimensionales, o explicaciones en texto libre para que la idea que transmite el modelo pueda ser comunicada.

Para hacer un modelo es necesario plantear una serie de hipótesis, de manera que lo que se quiere representar este suficientemente cerca de la realidad, aunque también se busca que sea lo bastante sencillo como para poder ser manipulado y estudiado.

Los modelos científicos se pueden clasificar de muchas formas, atendiendo a su construcción podemos encontrar diferentes tipos de modelos. A continuación se enumeran estos tipos:

- Modelos matemáticos
- Modelos deterministas
- Modelos estocásticos
- Modelos empíricos o estadísticos
- Modelos teóricos
- Modelos de caja negra

Validez de un modelo

Para determinar si un modelo es aceptable, es decir si es válido, debe cumplir al menos estas tres condiciones:

1. El modelo puede explicar las observaciones realizadas del fenómeno.
2. Se puede usar el modelo para predecir el comportamiento del fenómeno modelado.
3. El modelo es consistente con otras ideas acerca del funcionamiento del fenómeno modelado.

Se pueden dar con frecuencia varias situaciones en las que exista más de un modelo que sea una explicación aceptable del fenómeno. Se decide su aceptabilidad basándose en el cumplimiento de las tres condiciones expuestas encima. Además, los modelos no son inamovibles. Es frecuente que, con el aumento de observaciones del fenómeno, se cambien los modelos para explicar más casos de comportamiento que antes no se habían contemplado.

2.9.1 Modelos de propagación en redes inalámbricas

Un modelo de radio propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar y predecir las características radio de un ambiente determinado. Este tipo de modelos se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o deterministas o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Los modelos empíricos o estadísticos basan sus predicciones en conjuntos de mediciones realizadas previamente. Los modelos teóricos lo hacen en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio y a diferencia de los anteriores, utilizan los detalles del entorno disponibles para estimar la propagación de la señal. Por otro lado, los modelos deterministas hacen uso de las ecuaciones de Maxwell para el cálculo computacional de las características de la propagación que se quieran estudiar.

Las predicciones que suelen realizarse con este tipo de modelos son estimaciones de las pérdidas que una señal de radiofrecuencia tiene entre un emisor y un receptor, por ejemplo una estación base y un terminal móvil o fijo. Otro tipo de predicciones que se usan a menudo son estudios de cobertura que calculan la potencia recibida en determinados puntos del espacio. Un ejemplo que utiliza este tipo de estudios es una planificación de una red Wi-Fi en el interior de un edificio.

Los modelos de propagación radio también pueden clasificar según la zona de cobertura donde se aplican en dos tipos principales: modelos de exterior o “*outdoor*” y modelos de interior o “*indoor*”. La explicación va centrada hacia los modelos de interior utilizados en los diversos experimentos realizados.

2.9.2 Modelos de propagación interiores

El campo de la propagación interior es relativamente nuevo y las primeras investigaciones datan de primeros de los 1980s. La llegada de las WLAN y las WPAN hace todavía más necesario el disponer de modelos de interior de predicción de cobertura.

Los modelos de propagación en interiores son de gran interés principalmente para la predicción de cobertura y de esta manera facilitar tareas como:

- Predecir el tamaño de las áreas que se pueden cubrir con un único punto de acceso.
- Planificar la ubicación de las celdas de modo que, aun utilizando la misma frecuencia, no se produzcan interferencias.

En entornos cerrados, los niveles de señal oscilan en mayor medida que en entornos abiertos. Esta diferencia se explica en el hecho de que en una localización específica, el campo eléctrico se forma por un número mucho mayor de componentes

indirectos que en el caso de un entorno abierto. A este fenómeno se le conoce como propagación multitrayecto.

Modelos de propagación deterministas

Estos modelos se basan en los principios fundamentales de la física que se refieren a la propagación de ondas de radio y los fenómenos que la rodean. Toda la base teórica que gobierna los fenómenos electromagnéticos esta desarrollada a partir de las ecuaciones de

Maxwell. Estas ecuaciones, en una de sus posibles formas, son:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Usando estas cuatro ecuaciones se pueden resolver todos los problemas electromagnéticos de una manera total, obteniendo así una solución concreta para cada punto del espacio. No es necesario entrar en detalles del desarrollo de estas expresiones pero hay que destacar que pese a que parezcan expresiones sencilla para el campo eléctrico E y el campo magnético H las expresiones que se derivan de ellas son ecuaciones muy complejas.

Lo que hacen las técnicas deterministas es solucionar estas ecuaciones, generalmente alguna aproximación de ellas. El problema es que solucionar estas ecuaciones es un proceso muy costoso y complejo, ya que deben ser aplicadas en todos los puntos del espacio además de tener en cuenta todas las condiciones de contorno entre estos puntos. Esto hace que el cálculo computacional al utilizar este tipo de técnicas sea muy elevado.

Existen numerosas técnicas de modelado deterministas. Por ejemplo, algunas de ellas se basan en métodos integrales, diferenciales, bien en el dominio del tiempo o de la frecuencia, etc. Dos de las técnicas más utilizadas y estudiadas en entornos *indoor* son las basadas en el cálculo FDTD (*Finite Difference Time Domain*) y las basadas en la Óptica Geométrica (*Geometrical Optics* o *GO*).

Modelos basados en técnicas de trazado de rayos (*Ray Tracing*)

Las técnicas basadas en trazado de rayos se fundamentan en la aplicación de la teoría de la óptica geométrica. Este método es uno de los más antiguos que se utilizan para alta frecuencia, ya que se desarrollo originalmente para analizar la propagación de la luz a frecuencias ópticas. A frecuencias elevadas no es necesario considerar la naturaleza ondulatoria de los campos electromagnéticos. Esta teoría proviene de considerar el transporte de energía a lo largo de un tubo de rayos, sin precisar si la energía se propaga en forma de ondas o de partículas.

Al no tener en cuenta la naturaleza ondulatoria de los campos, el método de óptica

geométrica no es capaz de predecir la difracción por lo que las técnicas basadas en trazado de rayos también se apoyan, además de en GO, en teorías de difracción como en la Teoría Geométrica de la Difracción (GTD), en la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) o en la Teoría Física de la difracción (PTD).

La teoría de óptica geométrica se basa en los siguientes conceptos:

- Las líneas de flujo de energía o rayos son rectas en un medio homogéneo. En medios heterogéneos, siguen el camino de longitud óptica estacionaria, es decir, de longitud mínima (principio de Fermat).

- Los rayos son reflejados por la superficie conductora según la ley de Snell. En consecuencia, a un punto de observación determinado llegan únicamente los rayos provenientes de los puntos de reflexión especular y no del resto de la superficie.

- La variación de la amplitud del campo a lo largo de un tubo de rayos está determinada por la ley de conservación de la energía. Por tanto, la amplitud del campo es inversamente proporcional a la sección recta transversal del tubo.



Figura 2. 25. Reflexión Ley de Snell

En los algoritmos basados en trazado de rayos la señal se propaga al igual que si fuesen rayos ópticos (aproximación del frente de onda), lo que hace que el análisis sea más sencillo. Los fenómenos que se contemplan en la propagación son principalmente tres, reflexión, refracción y difracción. También existen otros fenómenos como el *Scattering Difuso* que algunos algoritmos también contemplan.

Respecto al método de trazar los rayos existen dos formas principales:

Método de las imágenes:

Esta técnica consiste en calcular las imágenes del receptor con los objetos más importantes, generalmente los más cercanos, y posteriormente considerar las trayectorias desde el transmisor a cada una de las imágenes.

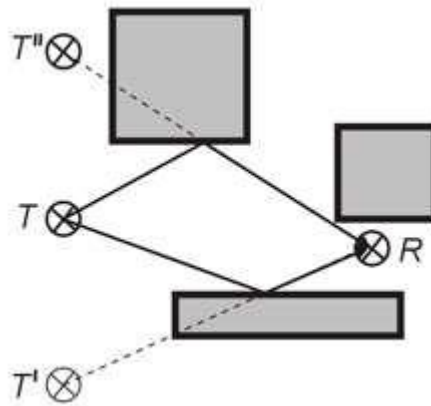


Figura 2. 26. Método de las imágenes

Las trayectorias de los rayos ópticos que definen el frente de onda quedan perfectamente definidas y pueden ser trazadas con gran exactitud. La potencia total recibida puede obtenerse como la suma coherente de todas las contribuciones.

Cuando el escenario se complica la utilización de este método es desaconsejable, sobre todo cuando se consideran reflexiones en número superior a dos, ya que el tiempo de cálculo crece exponencialmente con el orden de las reflexiones.

Lanzado de rayos

Es técnica, también conocido como *Ray Launching*, consiste básicamente en lanzar un número finito de rayos del transmisor. La distribución de los rayos debe ser uniforme en las distintas direcciones del espacio, cubriendo así el ángulo sólido completo deseado. Para cada rayo se consideran las múltiples reflexiones y refracciones que pueda sufrir hasta alcanzar el receptor.

El número de estas reflexiones y refracciones a considerar dependerá del nivel de señal a partir de la cual una contribución pueda ser considerada como poco significativa, tras un periodo de tiempo determinado o tras un número limitado de interacciones con los obstáculos.

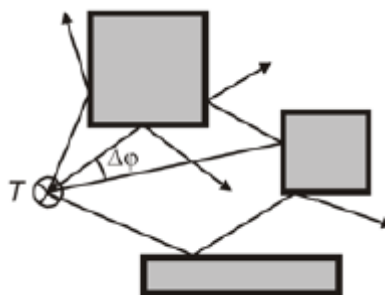


Figura 2. 27. Método lanzado de rayos, Ray Launching

Este método es muy útil en entornos complejos ya que es más fácil seguir los rebotes de los rayos, pero también es más complicado encontrar con los rayos los receptores ya que es necesario un número suficiente de rayos para cubrir todo el espacio y que algún rayo alcance a esos receptores.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre los dos métodos de acuerdo a una campana de medidas realizadas por el grupo europeo COST 231. En este caso en el Lanzado de Rayos se han tenido en cuenta 5 reflexiones y 12 penetraciones y en el Método de las Imágenes reflexiones de hasta segundo orden además de los elementos difractores principales.

	Método de las imágenes		Lanzado de rayos	
	STD (dB)	Error Medio (dB)	STD (dB)	Error Medios (dB)
Dos pisos. 856 MHz	9.0	- 2.7	6.2	0.3
Dos pisos. 1800 MHz	11.3	10.3	8.7	0.1
Más de 2 pisos. 856 MHz	7.8	- 2.6	9.1	- 4.6
Más de 2 pisos. 1800 MHz	10.9	11.7	11.8	- 5.7

Tabla 2. 2. Modelos de trazado de rayos.

Observando los valores de la tabla anterior se comprueba que, en general, Lanzado de rayos es mejor técnica que el Método de las imágenes, especialmente a mayores frecuencias.

Con los modelos que hacen uso de la Óptica Geométrica se obtienen soluciones relativamente simples en los estudios de radio propagación. Sin embargo GO obtiene buenos resultados cuando se trabaja con elementos eléctricamente grandes. Además las técnicas de difracción, como UTD, son rigurosas cuando se trata de estudios de conductores perfectos.

Al enfrentarse a estructuras con pérdidas y de dimensiones comparables a la longitud de onda, el trazado de rayos no es la solución óptima.

Esto cobra mayor importancia cuando tanto como las antenas transmisoras como receptoras se instalan próximas a estructuras de materiales complejos para los que no podemos aplicar soluciones asintóticas, aunque si la solución a las ecuaciones de Maxwell.

Por lo tanto, las características de la radio propagación se pueden derivar resolviendo directamente las ecuaciones de Maxwell relativas a propagación de ondas electromagnéticas.

Modelos FDTD

El método FDTD (*Finite-Difference Time-Domain*) es uno de los métodos más utilizados para la obtención de una solución numérica de las ecuaciones de Maxwell. En este método las ecuaciones de Maxwell se aproximan por medio de un conjunto finito de ecuaciones diferenciales. Previamente a la realización de los cálculos es necesario definir un mallado, es decir una cuadrícula específica sobre el área de

interés. Una vez que estas condiciones iniciales han sido definidas, el algoritmo FDTD emplea las diferencias centrales para aproximar las derivadas tanto en el espacio como en el tiempo. En los nodos de la cuadrícula la solución se determina iterativamente, resolviéndose de este modo las ecuaciones de Maxwell directamente.

Al igual que los modelos basados en trazado de rayos, los modelos FDTD exigen una carga computacional muy elevada. El tiempo de computación depende proporcionalmente del tamaño del área a ser analizada, pero no significativamente de los detalles incluidos en su descripción. Sin embargo el número de nodos de la cuadrícula está exponencialmente relacionado al tamaño del área y la frecuencia de operación.

Las ventajas de este modelo son su gran exactitud y que facilita una solución completa para todos los puntos de una cierta geometría. La precisión del modelo FDTD está por encima a la de los modelos basados en trazado de rayos y la predicción es tan precisa como pueda serlo la base de datos de descripción del área.

Esta técnica también es interesante ya que puede ofrecer, junto con una de trazado de rayos, una herramienta híbrida para desarrollar un modelo de propagación adecuado que combine exactitud y coste computacional. La idea básica sería usar esta última en el análisis de áreas amplias y FDTD para el estudio de áreas cercanas a estructuras de materiales complejos, donde el trazado de rayos no es suficientemente exacto.

Modelos de propagación empíricos o estadísticos

Los modelos empíricos se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de campanas de medidas realizadas sobre el terreno. La principal ventaja de estos modelos es que las influencias propias del entorno son tenidas en cuenta de manera implícita en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada. Por el contrario, su precisión depende no solo de la precisión de las medidas sino de la similitud entre el entorno donde fueron llevadas a cabo las medidas y el entorno a analizar.

Con estos modelos de propagación lo que se pretende generalmente es estimar las pérdidas de potencia de la señal en el camino (*path loss*). Para ello es necesario recordar las relaciones existentes en la propagación de señales en espacio libre.

Los modelos que se detallan son los siguientes:

- Propagación en espacio libre
- COST 231 Multiwall
- Multiwall simplificado
- ITU-R
- Linear Path Attenuation
- Kennan-Motley

Propagación en Espacio Libre

Los cálculos de propagación en espacio libre se utilizan para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe línea de visión directa. Para dos antenas separadas una distancia r , conectadas a sus correspondientes transmisor y receptor, la ecuación de transmisión de Friis establece la relación entre la potencia recibida y la radiada. La potencia que la antena receptora entregara a su carga adaptada vale:

$$P_L = \frac{P_r}{4\pi r^2} D_T A_{efR}$$

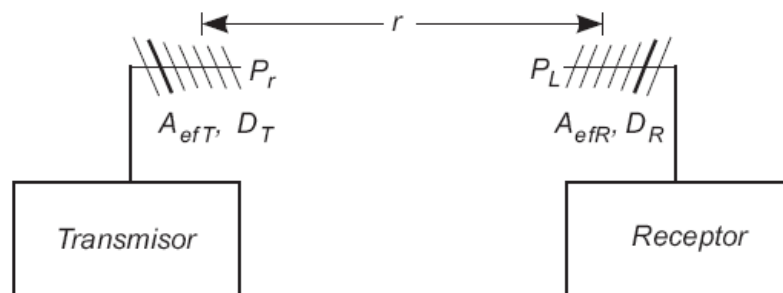


Figura 2. 28. Balance de potencia entre antenas.

Se puede relacionar la directividad y el área efectiva de cualquier antena. Esto permite reescribir la ecuación anterior en términos de la directividad que tendría la antena receptora si actuara como transmisora:

$$\frac{A_{ef}}{D} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Resultando entonces

$$\frac{P_L}{P_r} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_T D_R$$

El término $(\lambda / 4\pi r)^2$ se denomina pérdida de transmisión en el espacio libre L_O y se corresponde con la pérdida de transmisión entre antenas isótropas. Toma, en decibelios, un valor.

$$L_O = 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) = 22 + 20 \log \left(\frac{r}{\lambda} \right) = 32,5 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log r_{(km)}$$

En general se tiene:

$$\frac{P_L}{P_r} = L_O + D_T + D_R - L \quad (\text{dB})$$

Donde todos los términos se expresan en decibelios y L engloba los factores de pérdidas provocadas por la desadaptación en las antenas y las pérdidas. Desde el punto de vista del computo del balance de potencia en sistemas de comunicaciones, es preferible referir la potencia recibida, PR, a la potencia transmitida, PT, entendida en este caso como la entregada a la antena. La ecuación de transmisión resultante se escribe en términos de las ganancias de las antenas y en el factor de pérdidas L' no se han de contabilizar las pérdidas en las antenas, por estar ya incluidas en las ganancias.

$$\frac{P_L}{P_r} = L_O + G_T + G_R - L' \text{ (dB)}$$

A continuación se presentan cinco modelos empíricos de cálculos de propagación. Aunque existe algún modelo más, estos son los más importantes.

Modelo de Pérdida COST 231 Multi-Wall

El modelo COST 231 es uno de los modelos más completos para cálculos de radio propagación en entornos interiores. Este modelo predice la potencia recibida calculando las pérdidas en el camino recorrido entre el transmisor y el receptor. El modelo además de contar con las pérdidas por espacio libre y diversos parámetros empíricos tiene en cuenta las paredes, techos y suelos que son atravesados. La fórmula utilizada para calcular las pérdidas es:

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{wi} L_{wi} + n \left(\frac{n+2}{n+1} - b \right) \cdot L_f \text{ (dB)}$$

Donde:

LFS = pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

LC = constante de ajuste de pérdidas

Kwi = número de paredes de tipo i penetradas

n = número de suelos penetrados

Lwi = pérdida debida a muro de tipo i

Lf = pérdida entre suelos adyacentes

b = parámetro empírico

En la siguiente tabla se muestran valores típicos para los factores de pérdidas.

	Descripción	Factor (dB)
L_f	Suelos (estructura típica) - Baldosas - Revestimiento de hormigón - Espesor típico < 30 cm	18.3
L_{w1}	Muros internos finos - Yeso - Muros con muchos huecos (ventanas)	3.4
L_{w2}	Muros internos - Hormigón, ladrillos - Mínimo número de huecos	6.9

Figura 2. 29. Factores de pérdida

Cabe destacar que este es el modelo de propagación indoor que se utiliza en UMTS. Este modelo está profundizado en la especificación de los procedimientos seleccionados para la elección de las tecnologías de transmisión de radio para UMTS.

Modelo Multi-Wall simplificado

Este modelo caracteriza las pérdidas de señal a lo largo de un trayecto en interior por un exponente fijo de valor 2 (como en el espacio libre) y unos factores de pérdida relacionados con el número de suelos y muros que atraviesa la línea recta entre emisor y receptor.

$$L = L_1 + 20\log(r) + n_f a_f + n_w a_w \text{ (dB)}$$

Donde:

r = distancia en metros en línea recta

L_1 = pérdida de referencia con $r=1$ metro

a_f = atenuación por cada suelo que atraviesa

a_w = atenuación por cada muro que atraviesa

n_f = número de suelos que atraviesa

n_w = número de muros que atraviesa

Los valores de atenuación que se consideran son los que aparecen en la Tabla.

Modelo ITU-R

Es similar a los dos anteriores pero sólo tiene en cuenta explícitamente el número de suelos. Las pérdidas en el mismo piso por atravesar muros, se incluyen implícitamente cambiando el exponente N en las pérdidas de trayecto. El valor mínimo de N es 10.

$$L = 20 \log f_{(MHz)} + N \log r_{(m)} + L_f n_f - 28 \text{ (dB)}$$

Linear Path Attenuation Model

Para un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta, Andelman propuso el “*Linear path attenuation model*”. El *path loss* medido en dB se obtiene de las pérdidas en espacio libre (LFS) más un factor lineal que se obtiene experimentalmente. La fórmula utilizada en este modelo es:

$$L(d) = L_{FS} + a \cdot d \text{ (dB)}$$

Donde “ a ” es el coeficiente de atenuación lineal y “ d ” es la distancia entre transmisor y receptor. En el caso de un ambiente de oficinas, el coeficiente “ a ” sería 0.47 dB/m. Este no tiene en consideración efectos de desvanecimiento. Solo toma en consideración la pérdida en espacio libre. Este modelo es susceptible de ser específico de un sitio, esto es debido a que el valor de “ a ” varía de un entorno a otro y debe ser medido con precisión para poder demostrar los beneficios de este modelo. En general “ a ” varía de 0.23 a 0.62 dB/m.

Modelo Keenan-Motley

J.M. Keenan y A.J. Motley propusieron un modelo que se basa tanto en la teoría como en las medidas hechas en la práctica. Este modelo mide las pérdidas por

Propagación mediante el nivel de la señal recibida y una distancia de referencia. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$L(d) = L_M + 10n \log(d) + L_{ap} + L_O + k_f L_{FW} \quad \text{(dB)}$$

Donde:

L_M = pérdidas medidas a 1 metro.

L_{ap} = coeficiente introducido para compensar el diagrama de radiación de la antena

L_O = exceso de pérdidas que no dependen de los suelos o techos atravesados.

Engloba

pérdidas por *scattering*, difracción, etc.

LFW = coeficiente de pérdidas por penetración a través de suelos/techos.

kf = numero de suelos/techos penetrados.

Este modelo depende tanto de la teoría como de pérdidas medidas. El path loss medido es una buena forma de saber el comportamiento del modelo. Sin embargo este modelo no puede ser utilizado para predecir el nivel de señal recibido, dado el requerimiento de medidas del *path loss* reales.

3. EVALUACION DE RESULTADOS

Se pretende en esta parte evaluar el dispositivo Holtin. La situación es la siguiente. El paciente lleva colocado en el pecho el dispositivo para monitorizar su señal electrocardíaca.

El dispositivo sometido a estudio emite señales bluetooth con información cardiaca del paciente al teléfono móvil de este. Se evalúan distintas posibles situaciones en las que se va a encontrar el portador del Holtin. Desplazarse dentro de una habitación sin llevar el teléfono móvil puede ser el caso más frecuente. Se determina la cobertura en el caso en que el receptor y emisor están en la misma sala y también para cuando el paciente salga se encuentre en una sala distinta y entonces la señal tenga que atravesar paredes.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos tras las mediciones así como el proceso realizado para realizar las mediciones. Se detallan las características de los materiales utilizados durante los procesos de medida, también se describen los escenarios seleccionados para evaluar el comportamiento de la señal de bluetooth.

Las medidas experimentales obtenidas se comparan con distintos modelos de propagación de ondas, de los explicados anteriormente. Se muestran distintas gráficas en las que se ven los datos tomados y los supuestos con cada modelo de propagación de ondas.

Sobre la cobertura de la sala se muestran en algunos casos mapas de cobertura de los recintos.

Se hará una primera evaluación de la señal en cada sala.

PLANTEAMIENTO

Para la evaluación de la cobertura del sensor bluetooth sometido a estudio; se han tomado medidas de potencia recibida en distintos escenarios interiores.

El diseño del dispositivo se presupone para funcionar en entornos interiores principalmente. Evaluaremos la cobertura del sensor de bluetooth emitiendo a una determinada potencia. Se estudian salas de distintas proporciones con el fin de apreciar el comportamiento de la señal de bluetooth en distintas situaciones y ver cuánto puede separarse el paciente del teléfono móvil. La evaluación del dispositivo se hará en base a datos de potencia emitida y recibida, gráficos de cobertura y sensibilidad. Se comparan las medidas in situ con las medidas simuladas con los distintos modelos de propagación. El emisor de señal bluetooth ha sido diseñado por investigadores de la universidad y facilitado para realizar las medidas.

3.1 Método de medida

Es importante realizar las medidas in situ en buenas condiciones. Comprobar los materiales antes de utilizarlos y despejar el lugar de medida de los obstáculos que puedan interferir en el resultado final siempre que sea posible. De esta manera los datos quedan bien preparados para compararlos con los modelos simulados.

1. Primeramente se selecciona la sala para someterla a estudio. Se consideran varias salas para evaluarlas que para el caso que se estudia se seleccionan únicamente salas interiores.

2. Se revisa posteriormente el material antes de poner el sensor a emitir. Se coloca el sensor emisor de bluetooth en un lugar distante de las paredes para prevenir que las reflexiones provocadas por las ondas lleguen a la vez que el frente de onda directo. Se hace una distribución del recinto indicando los puntos que se quieren evaluar. La potencia de transmisión es de 0 dBm. Se conectan el emisor a un ordenador con el software diseñado para el funcionamiento del aparato bluetooth.

Desde el ordenador seleccionaremos el modo de emisión: frecuencia, potencia, tipo de señal. Tanto la antena transmisora como la receptora se colocan a 1,5 metros del suelo.

3. Utilizando el analizador de espectro se toman datos de potencia recibida en cada uno de los puntos en los que previamente se ha decidido que caracterizarán cada sala. El analizador de espectro ha de ser calibrado para precisar cada medida tomada.

3.2 Material de medida

El material de medida utilizado es una antena receptora de 2,4GHz conectada mediante

un cable coaxial a un analizador de espectro portátil . Se van tomando valores de potencia recibida en los puntos de la sala mediante la distribución de esta en distintas zonas. Para recibir la señal se coloca el emisor de señal bluetooth que es el dispositivo médico Holtin.

Se detallan ahora los principales aparatos utilizados:

- Emisor señal bluetooth.(Holtin)

Como se ha comentado el dispositivo utilizado es dispositivo médico Holtin que utiliza protocolo de comunicación bluetooth. Ha sido diseñado por un equipo de investigación de la UPNA, su función es monitorizar señales cardíacas. Por ello está pensado para que lo porten en el pecho pacientes con algún tipo de problema cardiovascular.

Para realizar las medidas el dispositivo se conecta a un base que simula el comportamiento de un corazón humano y entonces no es necesario portarlo en el pecho y lo podemos fijar en una mesa para las pruebas.

La finalidad del dispositivo es que monitorice los impulsos del corazón y mediante conexión bluetooth con el teléfono móvil del portador comunique a este cualquier anomalía para acudir a tiempo a un centro sanitario.



Figura 3. 1. Dispositivo Holtin

Modelo: Holtin 3EV12
Memoria interna: 4 MB

Comunicación: Bluetooth

Método de adhesión: Electrodo s tradicionales

Alimentación: Batería de litio recargable

Dimensiones: 61x66x13 mm

En esta otra foto se muestra el circuito impreso de la base para simular las señales. Necesita alimentación y está a su vez conectada a un ordenador con el software que permite manipular la señal a emitir.



Figura 3. 2. Base del dispositivo Holtin

- Antena receptora.

La antena utilizada para captar la señal bluetooth es una antena dipolo.

Esta colocada sobre una base ya que está diseñada para interiores y en este caso sólo analizaremos entornos interiores. Los datos proporcionados por el fabricante estiman un alcance de unos 450m aproximadamente. Es omnidireccional. Con ella captaremos la potencia de señal recibida en los distintos puntos en los que la coloquemos para calcular la cobertura de señal bluetooth de cada recinto.

Esta será la antena que mediante un cable coaxial se conecta al analizador de espectro para visualizar la señal captada.

Se proporcionan ahora algunos datos técnicos de la antena descrita.



Figura 3. 3. Antena receptora 2,4GHz

Marca: Level One, modelo OAN-1070

Rango de frecuencias : 2,4GHz

Ganancias: 7dBi

Dimensiones: 70x115x300mm.

Ancho de haz (plano H): 360º

Ancho de haz (plano E): 23º

Conector: RP SMA Plug

Impedancia: 50 Ω

- Analizador de espectro

El analizador de espectro proporciona visión de la señal recibida por la antena a la que está conectada entre muchas de sus utilidades. Es una herramienta de gran utilidad para diseñar y mantener redes inalámbricas.

Se detallan algunas de las características del instrumento:



Figura 3. 4. Analizador de espectro

Marca: Agilent, modelo N9912A FieldFox RF Analyzer
Analizador de Espectros: 5 KHz a 4 GHz (6 GHz opcional)
Ancho de banda de resolución (RBW): 10 Hz a 2 MHz
Ancho de banda de video (VBW): 1 Hz a 2 MHz
Precisión: 0.1 dB (0 dB de error)
Rango: +30 dBm a -170 dBm
Dimensiones: 292 x 188 x 72 mm
Peso: 2.8 Kg

- Software de trazado de rayos

Para el cálculo de los mapas de potencia de alguna de las salas se ha utilizado un programa de trazado de rayos en tres dimensiones, que ha sido diseñado íntegramente por un equipo de trabajo de la Universidad Pública de Navarra. Este software ha sido programado con la herramienta matemática Matlab con la función de poder ser utilizado como una herramienta para el cálculo de radiopropagación en entornos interiores.

El método de trazado de rayos en 3D que se ha utilizado se basa en un algoritmo Ray-Launching que consiste en lanzar rayos desde el transmisor con un cierto ángulo que se va incrementando discretamente. Se puede ver un ejemplo en la Figura 3.5. Cada rayo es computado individualmente y el campo eléctrico de cada pixel es la suma de todas las contribuciones de los rayos que atraviesan ese pixel [17]. En nuestro caso cada pixel corresponde con un punto del mallado. El mallado utilizado es de forma hexaédrica y las celdas de resolución 0,2m*0,2m*0,2m generalmente.

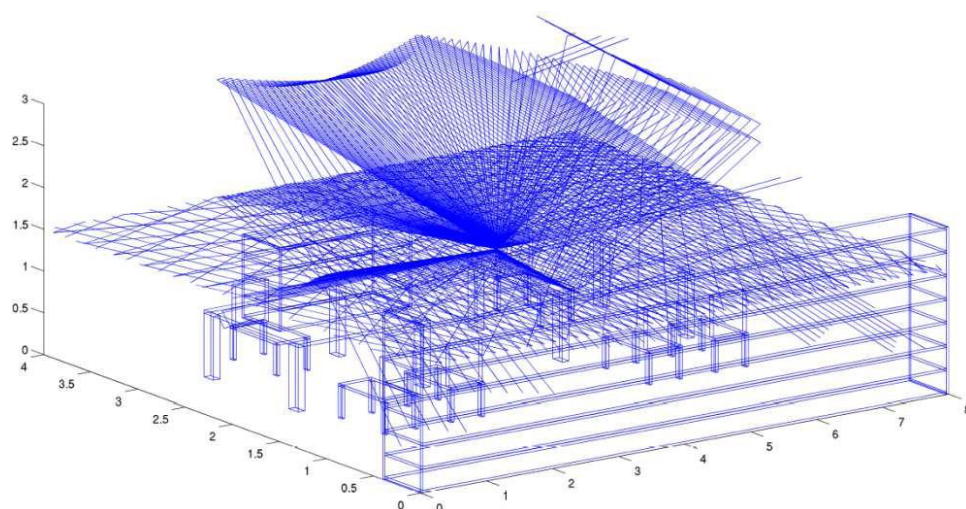


Figura 3. 5. Trazado de rayos en una sala

Este método tiene en cuenta la reflexión (rebotar) y la refracción (atravesar) de los rayos, fenómenos clave en la propagación en interiores. El algoritmo es recursivo con cada rayo, por lo que el tiempo de computación depende en gran medida tanto del incremento del ángulo de salida como de las reflexiones y refracciones permitidas. En la mayoría de los casos 2 o 3 rayos proporcionan el 95% de la energía pero en este caso se ha utilizado un máximo de 6 reflexiones y refracciones por rayo para mejorar la precisión. Esto aumenta el tiempo de cálculo, sin embargo, el coste computacional no ha sido elevado ya que los escenarios de simulación no son muy grandes.

A la hora de crear el escenario se puede construir cualquier tipo de objeto que pueda ser simplificado en hexaedros. Además para todos los objetos se define el material con el que están hechos y se caracterizan mediante su constante dieléctrica y su tangente de pérdidas. Se pueden incluir también antenas emisoras y receptoras definidas mediante sus parámetros básicos (frecuencia, directividad, polarización, potencia salida, etc.).

El tipo de resultados que se pueden extraer con este programa son de gran interés en la caracterización radio. Se puede calcular la potencia recibida en cada punto del espacio pudiendo crearse así mapas de cobertura tanto horizontales (altura fija) como verticales (distancia longitudinal fija). Se pueden crear mapas de interferencia cuando varias antenas emiten a la vez y gracias a que se calcula el tiempo de propagación de cada rayo se pueden obtener perfiles de retardo potencia para cada punto así como mapas de dispersión.

Un punto fuerte de trabajo de este proyecto ha sido la comprensión completa del código del programa para poder utilizarlo, ya que al no existir una interfaz amigable es necesario conocer al detalle el código fuente tanto para programar los escenarios como para extraer los resultados. Además se han depurado ciertos errores que presentaba el programa en simulación como por ejemplo incongruencias cuando un rayo choca con una esquina y también se ha corregido alguna fórmula.

Las principales limitaciones de este programa son que no se han implementado todavía fenómenos importantes en la propagación *indoor* como la difracción y el scattering y que solo admite la construcción de formas a partir de hexaedros, la incursión de objetos como esferas y cilindros no es posible.

3.3 Escenarios

Se han seleccionado distintos entornos de medida con distintas características y dimensiones. Se trata de evaluar la propagación de la señal de bluetooth con distintas casísticas y así determinar la cobertura que proporciona el emisor bluetooth en cada entorno estudiado. Las salas elegidas pretenden simular distintas situaciones en las que se pretende utilizar el sensor bluetooth. El aparato utilizado para las pruebas está diseñado para su funcionamiento en entornos sanitarios. Hemos seleccionado escenarios como pasillos amplios de numeroso tránsito, pasillos estrechos con acceso más exclusivo. Recintos cerrados amplios con abundante mobiliario que pueda interferir en la propagación de la señal y salas pequeñas más austeras en las que se presupone que el paciente no tendría ninguna dificultad de comunicación con el teléfono móvil.

3.3.1 PASILLO PRINCIPAL PLANTA BAJA EDIFICIO DE LOS TEJOS

El edificio de Los Tejos de la Universidad consta de tres plantas. En su planta baja un pasillo recorre el edificio a lo largo. La anchura del pasillo se le concedió para soportar el tránsito de numerosos estudiantes, profesores, investigadores y demás personal en ambas direcciones simultáneamente. La medidas tomadas se suponen parecidas a las que se podrían tomar en pasillos de otros edificios públicos tales como centros hospitalarios en los que un gran número de personas puedan atenuar en exceso la señal. Las paredes son de hormigón y el suelo de cemento revestido.

Tiene una anchura de 3,9 metros y una altura de unos 3,1 metros.



Figura 3. 6. Fotografía pasillo principal edificio Los Tejos

3.3.2 PASILLO SECUNDARIO ENTRE DESPACHOS

Dentro del el mismo edificio de los Tejos de la Universidad, en la segunda planta de este se encuentra un estrecho pasillo que recorre por un lateral la planta. A ambos lados del pasillo se hallan despacho y oficinas de profesorado y diversos trabajadores del entorno de la universidad. Este pasillo se presupone silencioso y por tanto con escaso movimiento sobre él. La atenuación provocada por las personas en este caso es menor y menos probable. Para tomar las medidas se coloca el emisor en un despacho y el receptor se va moviendo por este pasillo. Es importante en este caso la atenuación producida por las paredes entre el despacho y el pasillo que son de hormigón y pladur mayormente. También influyen las puertas.

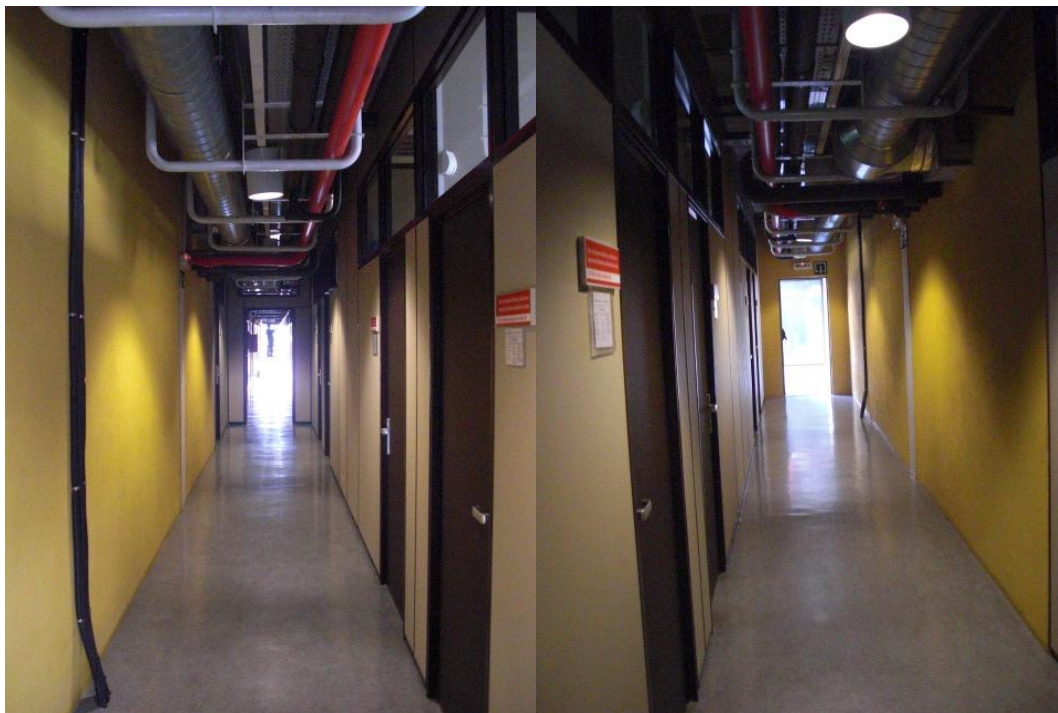


Figura 3. 7. Fotografías pasillo estrecho

3.3.3 LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIÓN

Este laboratorio se encuentra en el edificio de los Tejos en su segunda planta.

Se trata de un habitáculo amplio, es una sala prácticamente cuadrada y de altura uniforme. Lo hemos utilizado para realizar dos tipos de medida.

Una en la parte de entrada colocando el receptor a escasos metros del receptor.

Para la segunda medición mantenemos el emisor en la misma posición y ahora el receptor se va moviendo por toda la sala. Este entorno es complejo porque existen muchos objetos individuales que influyen en la propagación de la señal. Fue elegido para ver la influencia de la abundancia de mobiliario en la cobertura de la señal.



Figura 3. 8. Fotografía Laboratorio de Radiocomunicaciones



Figura 3. 9. Fotografía Laboratorio de Radiocomunicaciones

3.3.4 DESPACHO DE INVESTIGADORES

Como el resto de las salas este despacho se ubica en el edificio de los Tejos. En su primera planta. Está preparada con distintos puestos de trabajo para varias personas. Los materiales que la envuelven son: una pared de cristal, y las otras tres combinan hormigón y pladur. Está amueblada con sillas y mesas y estanterías de madera. Es pequeña de unos 35 metros cuadrados aproximadamente. Se puede considerar este tipo de escenario como el más habitual en la vida del paciente. Una sala diáfana de tamaño pequeño con distintos tipos de materiales y amueblada de una forma natural.



Figura 3. 10. Fotografía despacho investigadores

3.4 RESULTADOS

Se presentan en este apartado las tablas realizadas con las medidas tomadas en cada entorno interior. Se explican los resultados obtenidos.

3.4.1 Gráficos del pasillo principal de los Tejos.

En el boceto de debajo se muestra un esquema de una parte del pasillo principal de los Tejos donde fueron realizadas las medidas.

Este es un pasillo amplio y se ve la dispersión de la señal a lo largo de su recorrido.

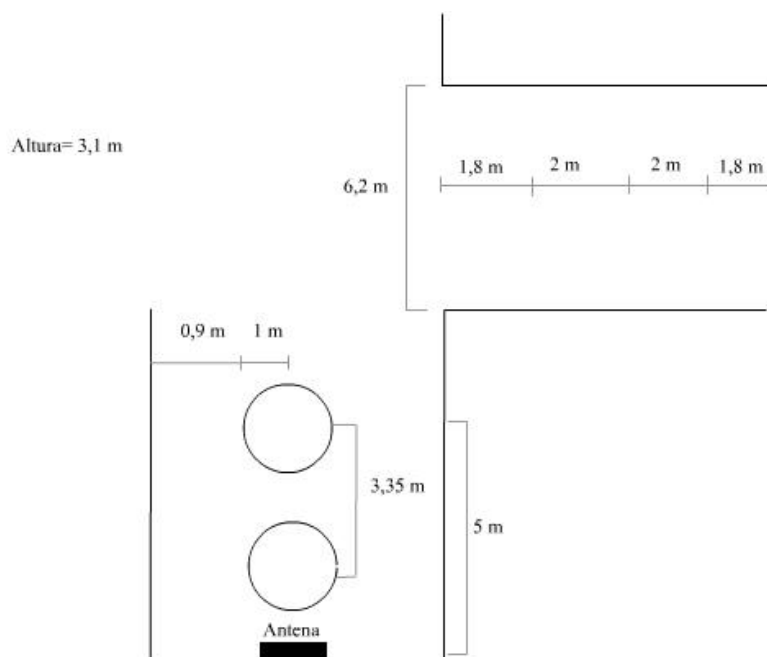


Figura 3. 11. . Gráfico pasillo de Los Tejos

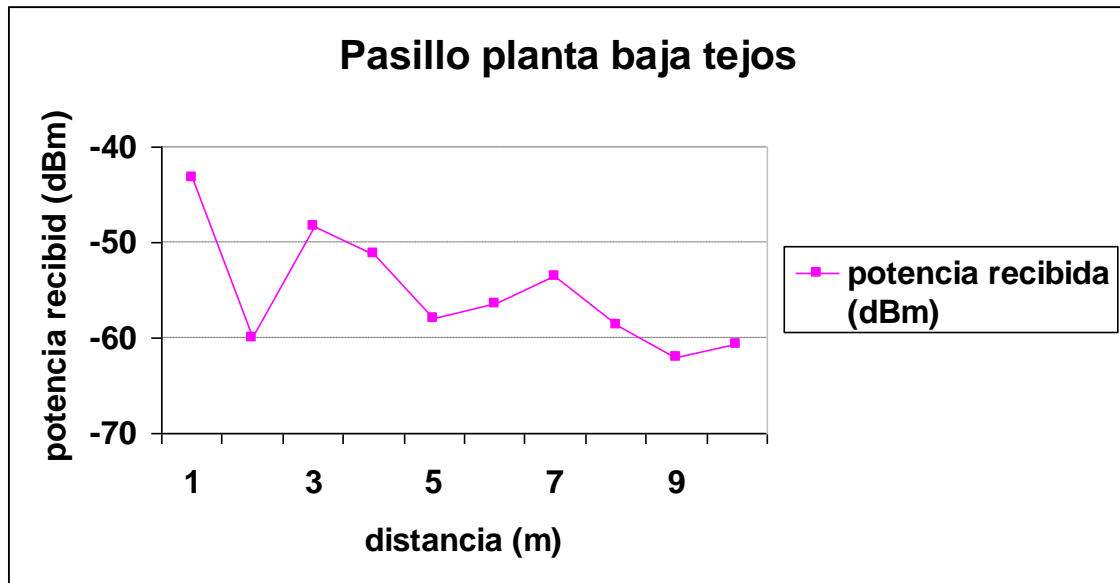


Tabla 3. 1. Potencia recibida en el pasillo principal del edificio Los Tejos

En este pasillo se han hecho mediciones de metro en metro hasta un total de diez. Lo primero que se aprecia es la caída del nivel de potencia recibida al aumentar la distancia. La señal captada se atenúa conforme nos alejamos de la fuente emisora.

La sensibilidad del Holtin se estima de -90dBm por tanto en este espacio no hay problemas de cobertura. La medida más baja es de -62dBm.

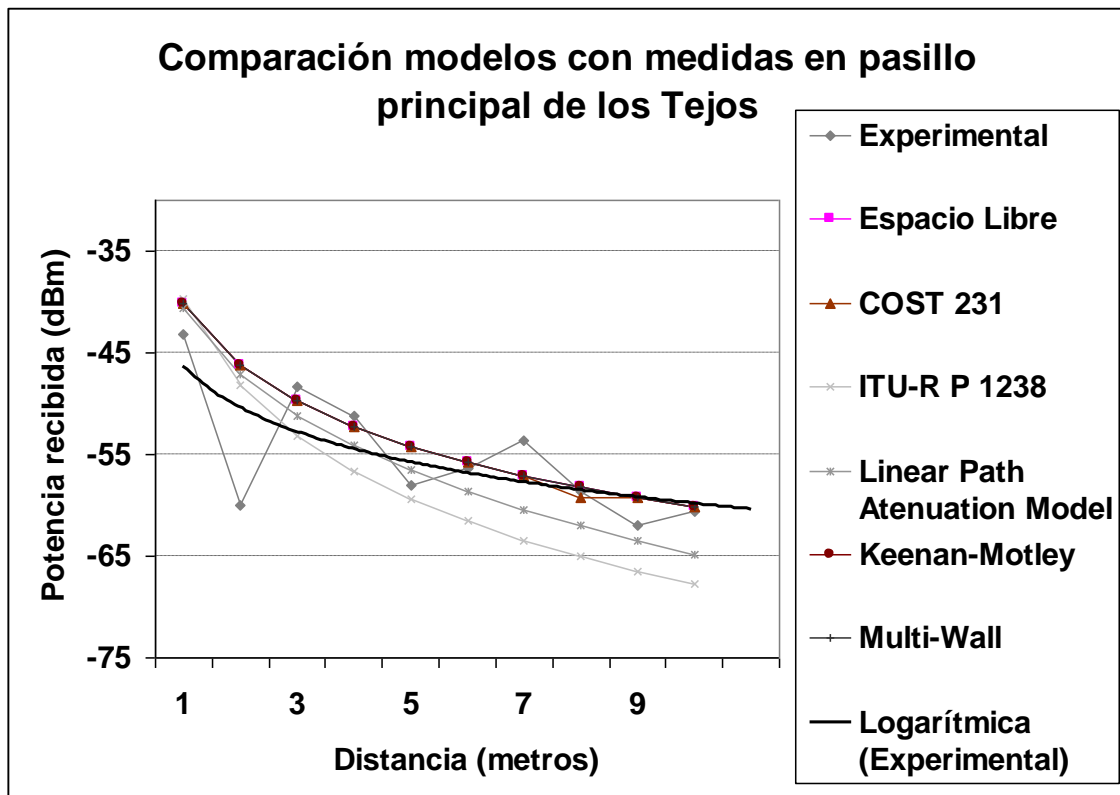


Tabla 3. 2. Comparación modelos con medida experimental

En esta tabla se comparan las medidas in situ tomadas en el pasillo con las medidas simuladas para los distintos modelos de propagación. Se traza la línea de tendencia

para ver con más claridad a que modelo se asemeja más. Parece que a los que más se aproxima la medida experimental es a los modelos Cost 231 y al Keenan-Motley. Si hubiese que decidir entre los dos, Cost 231 sería el elegido porque se trata de un modelo más completo, se refiere esto a que tiene en cuenta más componentes que el resto. Cost 231 tiene en cuenta las pérdidas por camino recorrido entre tx y rx, pérdidas por espacio libre y pérdidas producidas por obstáculos como techos, paredes o suelos.

Varios modelos podrían ser aceptados como válidos, esto quiere decir que podría utilizarse por ejemplo el modelo Cost 231 para predecir el comportamiento de la señal en este ambiente concreto.

Aunque, como luego se expone, el Ray Tracing aporta un mayor parecido con el modelo experimental ya que reconstruye mejor las variaciones que se producen en pequeñas variaciones de espacio debidas a las cancelaciones de ondas en algunos puntos contrastando con un mayor nivel de señal en la siguiente medida a mayor distancia en la que puede haber ocurrido una interferencia constructiva.

La atenuación que produce una persona es de 2 y 3dB. Por tanto en zonas de abundante tránsito se puede atenuar hasta perder la señal por completo.

3.4.2 Gráficos de las medidas en el pasillo estrecho

En este pasillo las medidas han sido tomadas colocando el emisor dentro de una sala y el receptor en el pasillo siendo las paredes de la sala donde se haya el transmisor el principal obstáculo atenuador de la señal. A demás se toman medidas del pasillo siguiendo su eje central y siguiendo la pared para observar de dos modos la reflexión de las ondas.

El principal factor a tomar en cuenta en este experimento son las distintas paredes. La mayor parte del pasillo tiene el muro de hormigón, aunque también hay vigas. Las ecuaciones que describen los modelos tratan la propagación de entornos interiores en los que no suelen encontrarse grandes obstáculos.

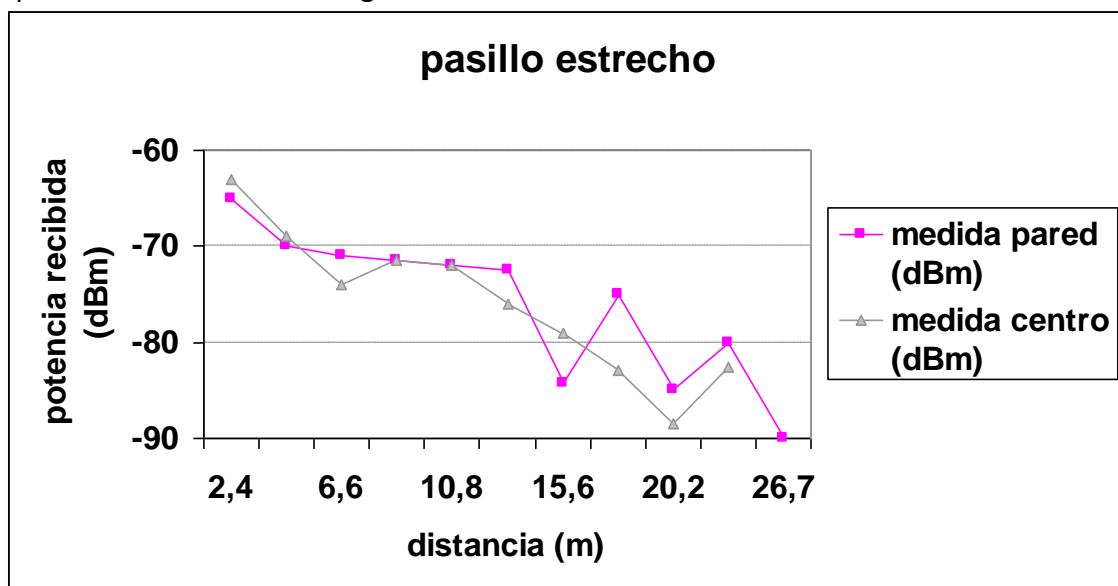


Tabla 3. 3. Datos de potencia recibida en el pasillo estrecho tomado como experimento

En esta tabla están los valores de potencia recibida a lo largo del eje central del pasillo y a lo largo del lateral, casi pegado a la pared. Los valores obtenidos son bajos .

En es te experimento se han tomado medidas a lo largo del pasillo. Una por el centro y otra por la pared. Al tomar datos de potencia tan cerca de la pared se produce alguna variación brusca en escasos metros debida a la variedad de materiales como materiales metálicos que reflejan más. Es por ello que en las medidas del centro va quedando entonces una variación de potencia recibida más uniforme. En este experimento, como se comentaba, la atenuación de la pared es el factor atenuador más significativo.

Se fue separando el receptor hasta que se perdiese por completo la señal, esto ocurrió a unos 30metros de separación y varias paredes de considerable grosor entre ambos.

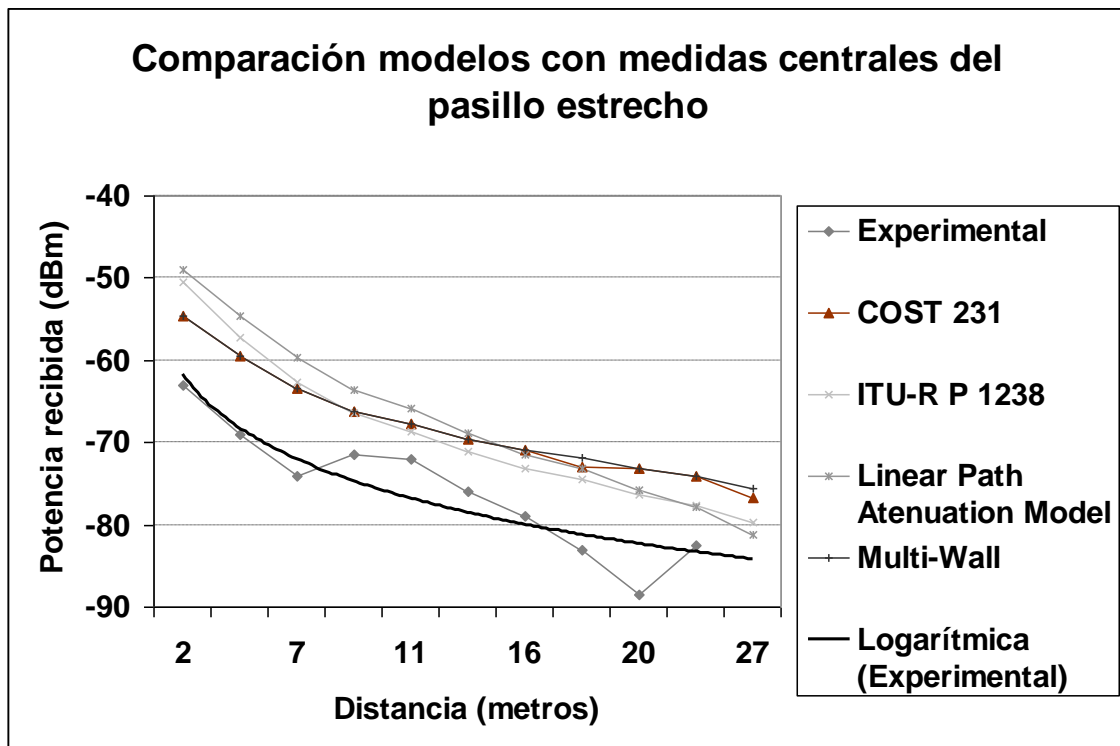


Tabla 3. 4. Comparación modelos con datos de medida en el pasillo parte centro

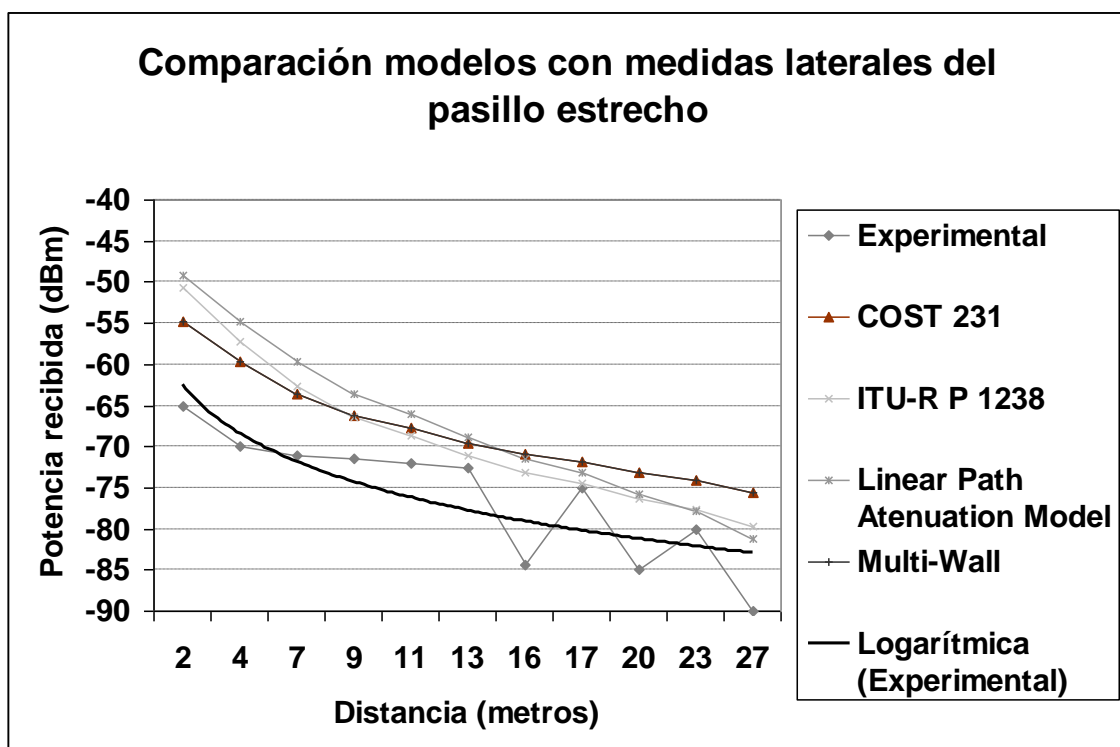


Tabla 3. 5. Comparación modelos con datos de medida en el pasillo parte centro

Se ha comparado la medida experimental con los modelos de propagación que tienen más en consideración la atenuación causada por las paredes.

Así pues para los modelos Cost 231 y Multiwall, que son bastante parecidos se ha considerado una pared separatoria de hormigón con escasos huecos a la que se le atribuye un factor de atenuación de 6,9 dB. La diferencia entre los valores de los modelos y los experimentales son notables, esto se debe a la poca precisión de los modelos a la hora de tomar en cuenta las paredes que atraviesa la señal.

Se comenta entonces de este experimento que si se separa en distintas salas el receptor del transmisor la señal es más propensa a perderse debido a la atenuación de varias paredes.

3.4.3 Gráficos del laboratorio de radiocomunicaciones

En este laboratorio se han contemplado distintas situaciones de medida.

La primera coloca al transmisor en la mesa de entrada y se toman datos con el receptor situado a lo largo del ancho de la sala. Se anota la potencia recibida separándose medio metro entre medidas la antena Rx de la Tx.

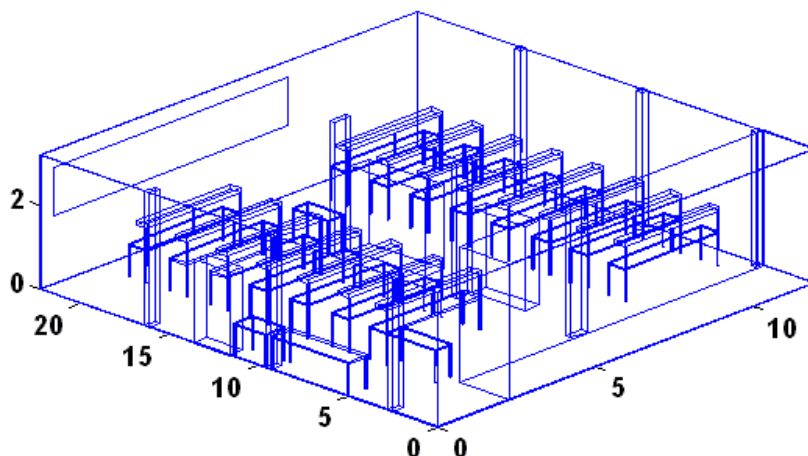


Figura 3. 12. Reconstrucción laboratorio en 3D

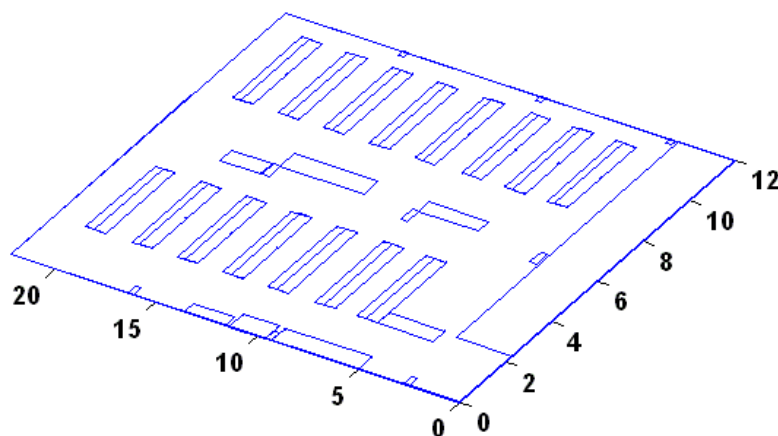


Figura 3. 13. Vista en planta del laboratorio

Estas dos vistas de la sala permiten hacer una idea de cómo se llevo a cabo el proceso de medida. La sala para lo pequeña de su tamaño se ve que está cargada de mobiliario que ha sido recreado para su simulación en el trazado de rayos.

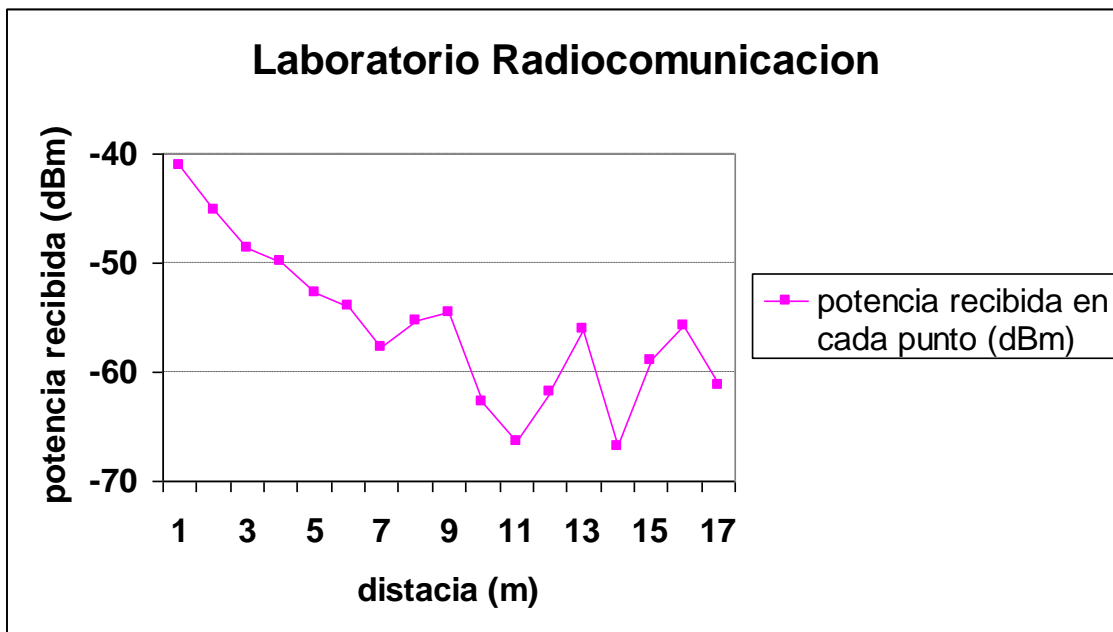


Tabla 3. 6. Datos de potencia recibida en el Laboratorio de Raiocomunicación

En esta gráfica se comprueba que el comportamiento de la señal de bluetooth se asemeja al comportamiento simulado por los modelos de propagación de ondas.

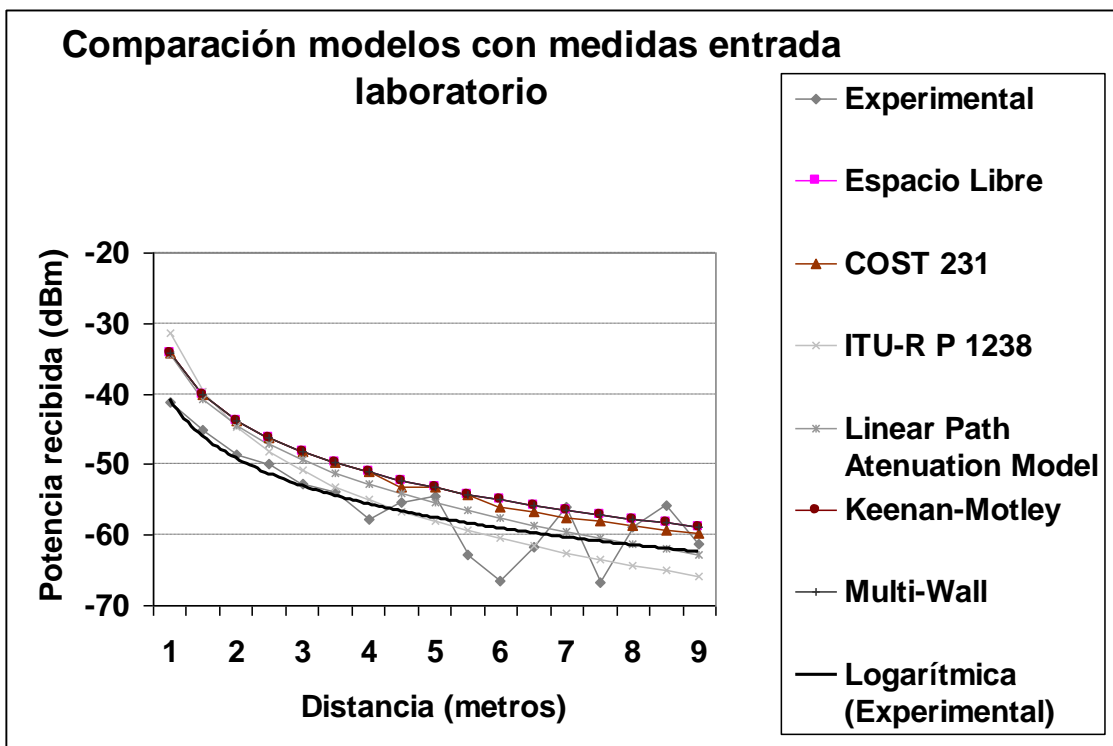


Tabla 3. 7. Comparación de los modelos de propagación con los datos de medida

En esta sala los modelos de propagación de ondas se asemejan bastante al modelo experimental. Hay pequeñas diferencias entre los modelos y la señal experimental, de

entorno a 5dB. Se consideran estos 5dB dentro del margen de error aceptado entre los modelos y los datos empíricos

Estos 5dB se deben a que en cada punto de la sala la interferencia de los muebles es distinta y la señal experimental fluctúa mientras que la de los modelos varía de una forma más uniforme. Esta variación es provocada por la interacción de las ondas con los distintos elementos de la sala. Mediante la técnica de trazado de rayos se obtendría un mayo parecido ya que esta tiene en cuenta este fenómeno.

También fueron tomadas medidas en distintos puntos de la sala para determinar la sensibilidad del dispositivo. El valor más bajo obtenido fue de -87dBm que anda bastante próximo al umbral de cobertura. Al interponerse armarios metálicos existentes en la sala entre el emisor y el receptor la señal se refleja en su mayor parte y la potencia recibida es muy baja. Podría darse algún punto en el que se perdiese por completo la señal aunque sería de manera puntual y no afectaría a la monitorización de la señal.

3.4.4 Gráficos del despacho de investigadores

En esta sala se recogen cuatro muestras en cuatro puntos de la sala.

Para el experimento el receptor se ha dejado fijo y el transmisor de la señal se ha ubicado en cuatro puntos distintos de la sala. En cada medida los elementos que se interponen entre emisor y receptor son diferentes.

Se han desarrollado los mapas de cobertura de los distintos puntos utilizando el software de trazado de rayos descrito con anterioridad. Es interesante realizar este tipo de pruebas para ver el comportamiento del dispositivo, su cobertura en escenarios reales y su respuesta a baja sensibilidad.

La potencia transmitida en este experimento es de -10dB. La potencia típica de emisión suele ser de 0dB, aunque en este caso la sala es bastante pequeña.

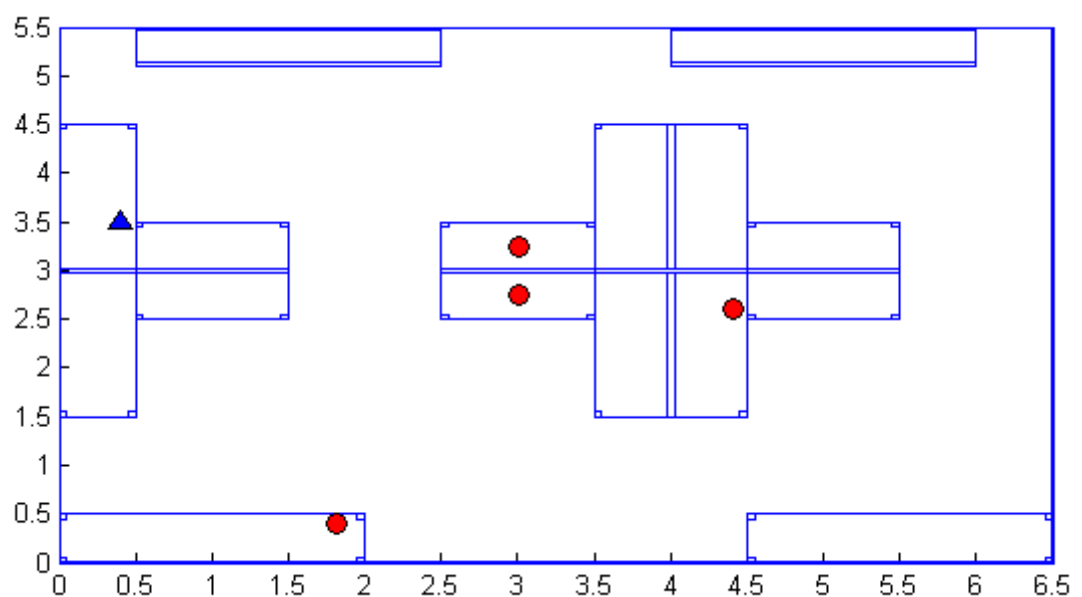


Figura 3. 14. Datos de potencia recibidos en el despacho de investigadores

Recordamos que los diferentes puntos del transmisor se han situado a las siguientes distancias del receptor:

punto 1 → 2,5 metros
 punto 3 → 3,4 metros

punto 2 → 3 metros
 punto 4 → 4,5 metros

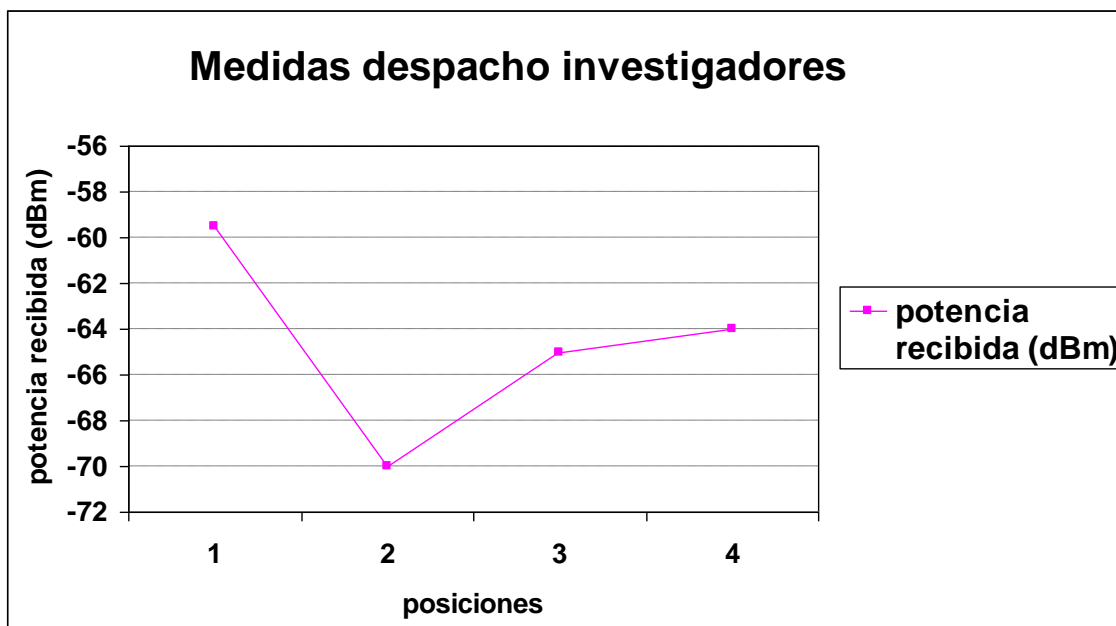


Tabla 3. 8. Datos de potencia recibidos en el despacho de investigadores

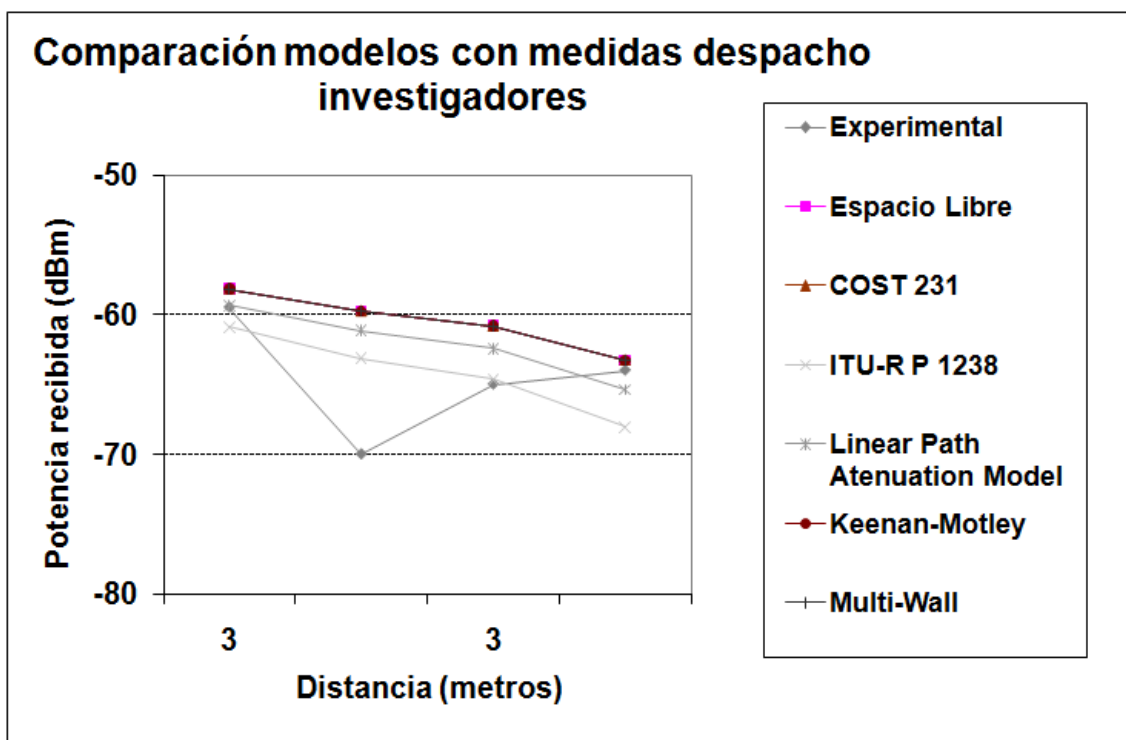


Tabla 3. 9. Comparación de los modelos con la medida tomada in situ

En estas gráficas se aprecia el decaimiento de la señal con el alejamiento del dispositivo. Observando los puntos en medida se puede ver que este comportamiento no se da en la realidad debido principalmente a la interacción de la señal con los objetos y las paredes que provocan que la suma de la señal final sea un suma de mas componentes (multitrayecto) y no sólo de la directa. Al compararlo con los modelos se aprecia que no siguen el valor en el punto 2. En este punto de medida se ha producido

una interferencia destructiva entre los componentes que se encontraban ahí en el momento de realizar la medición. Para los otros 3 puntos se puede dar por aceptables los modelos de propagación simulados.

Se muestran seguidamente los mapas de potencia obtenidos mediante trazado de rayos para los distintos puntos medidos en la sala. Se ajustan las escalas para mostrar en todos los mapas los mismos rangos de valores y apreciar así las diferencias existentes en los distintos casos.

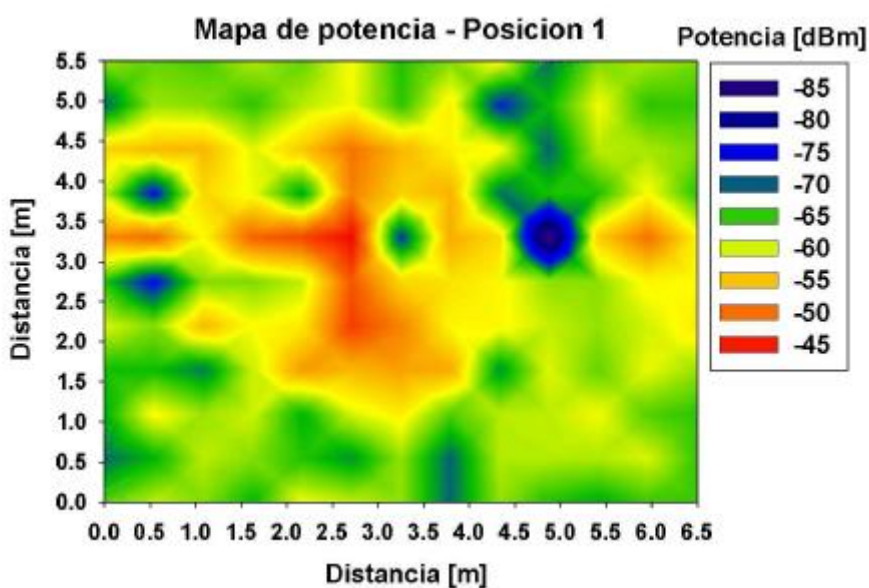


Figura 3. 15. Mapa de potencia posición 1

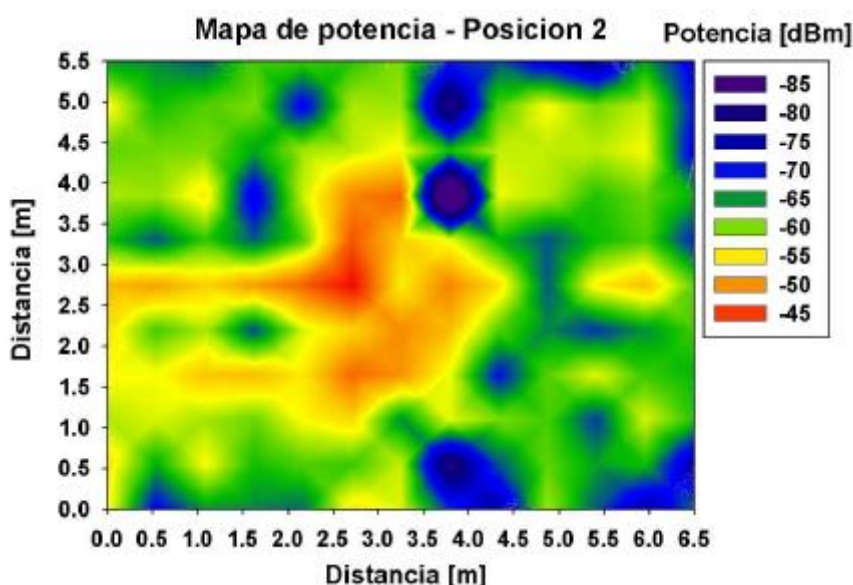


Figura 3. 16. Mapa de potencia posición 2

En estos dos primeros mapas, lo primero reseñable es la fuerte dependencia entre la potencia recibida y el entorno. En todos los mapas se reconoce una zona de mayor sensibilidad coloreada más rojiza que corresponde con la zona que rodea al transmisor. En el mapa 2 se ve que donde se coloca el receptor es un punto en el que cancelan las contribuciones.

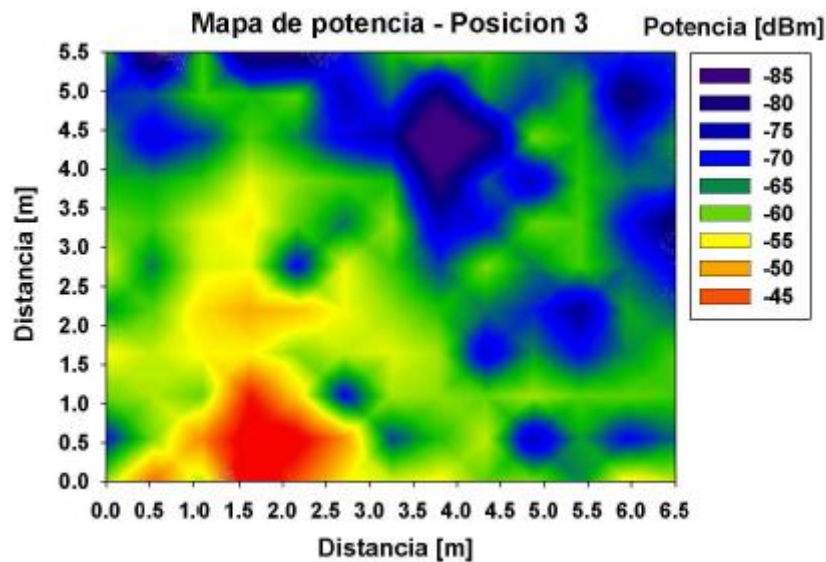


Figura 3. 17. Mapa de potencia posición 3

En esta posición se da en el escenario valores de -95dB para algunos puntos aunque han sido escalados para obtener el mismo rango en todos los mapas y salen como valores de -85dB. Cada mesa de la sala está separada de la contigua por planchas de madera. Desde esta posición la señal tiene que atravesar el mayor número de obstáculos por ello que haya muchas zonas con un nivel de señal tan bajo.

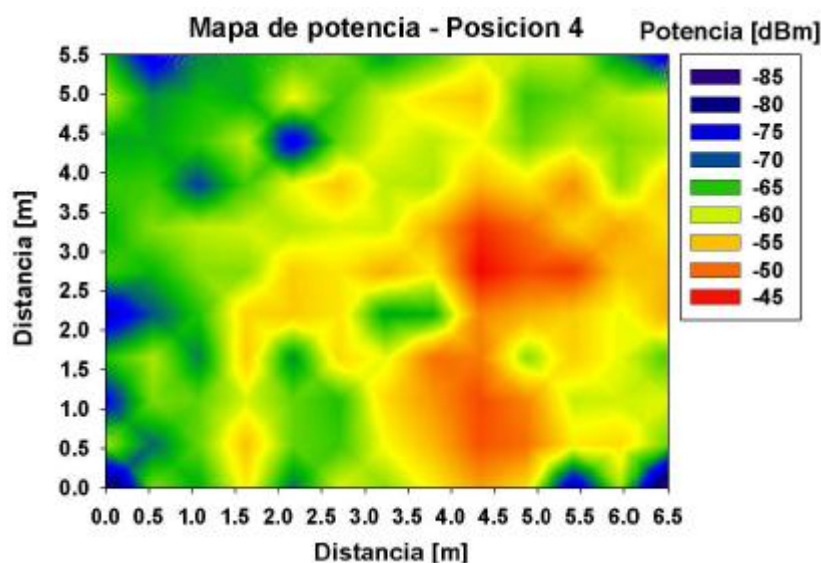


Figura 3. 18. Mapa de potencia posición 4.

Tras analizar los mapas de potencia, se dirá entonces que el dispositivo mantiene la cobertura en todos los puntos del entorno puesto que la sensibilidad del sensor analizado alcanza el valor de -95dB.

4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Se exponen a continuación las conclusiones sacadas de los resultados vistos en la parte previa. Se explican las conclusiones obtenidas de la realización de los distintos experimentos.

Por otra parte se aporta una visión generalizada del proyecto con vistas a futuras aplicaciones derivadas de estudios dentro del mismo campo.

4.1 CONCLUSIONES

Primero se comentan las conclusiones derivadas de cada experimento para posteriormente aportar una conclusión que englobe a todos.

El primer estudio es el del pasillo principal del edificio de Los Tejos, este pretende recrear una situación de tránsito por una zona amplia y con posibles aglomeraciones.

- La diferencia de potencia recibida cuando el dispositivo lo lleva el sujeto en el pecho es de 2 y 3dB. Lo que supone además que cada persona extra interpuesta entre el emisor y receptor atenuará otro tanto la señal. Por tanto una zona congestionada de gente provocará una atenuación sustanciosa de la señal.

El siguiente entorno evaluado es un pasillo estrecho con salas a ambos lados en el que la interacción de las ondas con las paredes es el mayor problema que presenta el estudio.

- Al colocar al receptor y al emisor en habitaciones distintas las paredes separatorias van a provocar una atenuación de la señal de difícil predicción. Hay que conocer los materiales de las paredes y su grosor con precisión para hacer una buena estimación. En casa de un paciente usuario de un dispositivo como el Holtin las paredes suelen ser generalmente del mismo tipo, esto permite hacer una predicción mejor. Con los datos de la medida experimental se determina que a una distancia aproximada de 30metros se pierde la señal.

El laboratorio de radiocomunicaciones tiene variedad y abundancia de mobiliario, este entorno podría asemejarse a la de una sala cocina-comedor en la que los materiales son variados.

- La cobertura en esta sala es buena. Las interferencias con algunos elementos como interponer planchas metálicas pueden hacer que en un punto y momento concreto se pierda la cobertura. No limita por ello el funcionamiento del dispositivo.

El despacho de investigadores es un entorno de trabajo como cualquier oficina con distintos puestos de trabajo.

4.2 LÍNEAS FUTURAS

Se comentan algunos aspectos a tener en cuenta en futuras investigaciones para mejorar los resultados en este ámbito.

Para precisar y tener más resultados sobre el dispositivo analizado. Se pueden realizar más mediciones. Pensar en analizar otros entornos; situaciones donde haya que atravesar varias paredes, entornos mixtos con zona interior y parte al aire libre.

Aumentando el número de casos se pueden evaluar más modelos de propagación para validar la precisión de cada uno.

Realizar medidas en entornos reales: hospitales, restaurantes, oficinas.

ANEXOS

ANEXO I Publicación de trabajo en congreso **Nacional: URSI 2010**

ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE ENTORNOS INTERIORES EN EL COMPORTAMIENTO DE SENSORES BLUETOOTH EN EL ENTORNO SANITARIO

Pablo Jiménez⁽¹⁾, Víctor Torres⁽¹⁾, Jorge Becerra⁽¹⁾, Santiago Led⁽¹⁾, Francisco Falcone⁽¹⁾
 pjr277@hotmail.com, victor_torres85@hotmail.com, jab_t_23@hotmail.com, santiago.led@unavarra.es,
 francisco.falcone@unavarra.es.

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, UPNA, Pamplona, Navarra.

Abstract- The aim of this work is to analyze the behaviour of a Bluetooth device within an indoor scenario, focused on telemetry of medical data. The device is a wearable sensor called HOLTIN, which transmits electrocardiographic signal via Bluetooth technology to a receiver on a terminal. Empirical simulation results and full 3D raytracing results are compared with measurements in order to assess the influence of the indoor scenario to the response of the device.

Potencia de transmisión	Alcance aproximado
100mW (20dBm)	100m
2.5mW (4dBm)	25m
1mW (0dBm)	10m

I. INTRODUCCIÓN

El empleo de tecnología inalámbrica en el sector sanitario ha abierto numerosas posibilidades para avanzar en la atención de los pacientes y aumentar la eficiencia y tiempo de respuesta de los facultativos. De esta manera, tanto tecnologías WLAN como PLMN integradas con sensores se emplean para monitorizar constantes vitales y la actividad de las personas bajo estudio. En este sentido, una de las herramientas empleadas es el uso de estándares de redes de área personal, como Bluetooth, para la interacción entre los sensores y la red de transporte final. Basándose en el estándar de comunicaciones inalámbricas IEEE 802, está el IEEE 802.15.1 que es el utilizado en las redes de comunicaciones de área personal (WPAN) basadas en tecnología Bluetooth [1].

La tecnología Bluetooth permite transmitir voz y datos mediante conexiones punto a punto o multipunto utilizando la banda no comercial ISM de 2.4 GHz. Utiliza saltos de frecuencia de espectro ensanchado (FHSS) con un esquema de modulación en desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK) [1]. Los saltos frecuenciales se producen en 79 canales de anchura 1MHz que abarcan de los 2.4 a los 2.480 GHz; el valor nominal es de 1600 saltos/s, limitando los efectos interferentes. La potencia de transmisión depende del dispositivo, existen de tres clases:



Fig. 1. Interconexión de dispositivos mediante Bluetooth.

En este trabajo se analizará el funcionamiento de un dispositivo llevable para la monitorización de señal electrocardiográfica llamado HOLTIN [2] que transmite la información mediante WPAN Bluetooth. Con el fin de poder estimar el comportamiento del mismo, se realizarán tanto simulaciones de cobertura empíricas como por trazado de rayos 3D. Dichos resultados se compararán con medidas en un entorno interior similar al de trabajo habitual de este tipo de dispositivos.

II. ESCENARIO DE CARACTERIZACIÓN INTERIOR BLUETOOTH

Con el fin de poder analizar la dependencia del funcionamiento del dispositivo con la ubicación del mismo en un entorno interior, se ha definido un escenario tanto de simulación como de medida para dicho sensor sanitario. Las mediciones han sido tomadas en una sala del departamento de electrónica de la Universidad pública de Navarra. La habitación es de unos 30m² aproximadamente. Consta de una pared de cristal, y las otras tres combinan hormigón y pladur. Está amueblada con sillas y mesas y estanterías de madera.

Para las mediciones se coloca el dispositivo Bluetooth maestro en distintas posiciones de la sala y el receptor se encuentra en un dongle USB conectada a un ordenador. Un analizador de espectros recoge las emisiones del dispositivo maestro para ser procesadas posteriormente.

Los puntos que aparecen en las figuras posteriores del escenario son en los que se ha colocado el dispositivo Bluetooth maestro. El triángulo representa la posición del receptor conectado al ordenador. Los puntos de medida aproximadamente se encuentran respecto del receptor a: punto 1 \rightarrow 2,5 metros; punto 2 \rightarrow 3 metros; punto 3 \rightarrow 3,4 metros; punto 4 \rightarrow 4,5 metros.

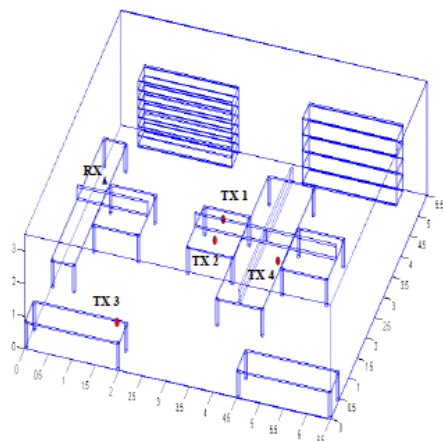


Fig. 2. Escenario de mediciones en tres dimensiones

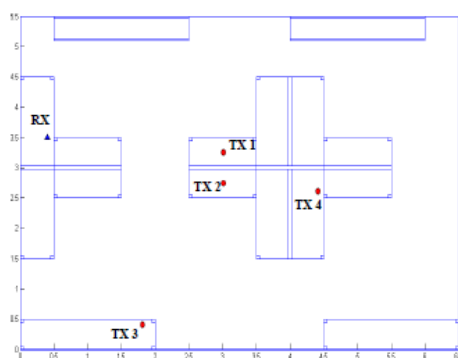


Fig. 3. Vista en planta del escenario de mediciones.

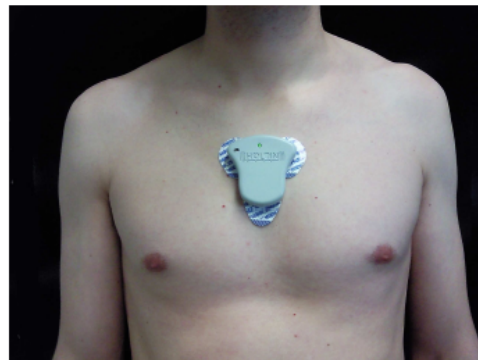


Fig. 4. Dispositivo Bluetooth

Tras las mediciones se procesan los datos para la realización de tablas y gráficos que expongan los resultados obtenidos del estudio. La Figura 5 muestra una captura de los resultados recogidos por el analizador de espectros. La potencia recibida en los distintos canales de frecuencia por los que va saltando la señal de Bluetooth, con valores entorno a -35dBm para distancias en un radio de 4 metros.

El uso de modelos empíricos para el cálculo de las pérdidas de propagación, incorporado a una expresión típica de balance de enlace interior, etc. proporciona de forma rápida los datos para trazar el mapa de cobertura del transmisor en base a niveles de señal de recepción, y en base a esta información definir el nivel de desempeño de receptores ubicados dentro de la zona de influencia del transmisor. En función de la tipología de los modelos se tienen en cuenta tipo y cantidad de paredes en la trayectoria entre el transmisor y el receptor, techos y suelos en la trayectoria de comunicación, etc. En la simulación mediante modelos empíricos, se han tomado en cuenta los siguientes modelos:

- COST-231. [3]
- ITU-R P-1238. [4]
- Linear Path Attenuation.

En el siguiente gráfico se simulan los distintos modelos de propagación de ondas para ver a cual se aproxima al de la tecnología Bluetooth. Tal y como cabe esperar, conforme aumenta la distancia la señal se va atenuando y se registran potencias de menor valor. Las distancias estimadas son de aproximadamente 5 metros, acordes con el uso de Bluetooth, diseñado para interactuar en distancias cortas y son las distancias empíricas tomadas.

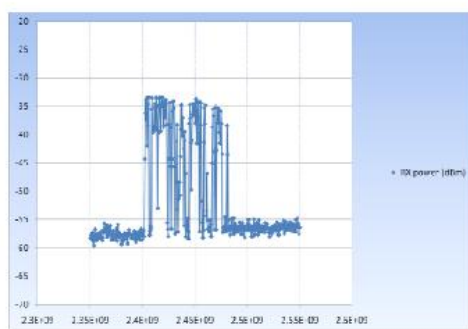


Fig. 5. Potencia recibida en los distintos canales frecuenciales durante comunicación Bluetooth

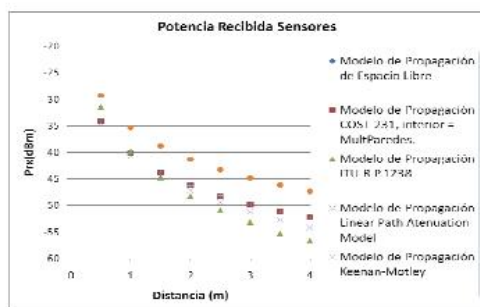


Fig. 6. Potencia recibida en la simulación de los distintos modelos de propagación según la distancia

Si se desea obtener un cálculo simulado más exacto de la potencia recibida es necesario utilizar algún método determinista que considere una casuística más compleja. En este caso se ha utilizado un programa basado en trazado de rayos en 3D implementado específicamente para el cálculo de radiopropagación en entornos interiores [5,6]. Este método tiene en cuenta fenómenos como reflexión, refracción y difracción para nada despreciables en cálculos de cobertura en escenarios de este tipo. Además incluye en sus cálculos todos los objetos de la habitación (Figura 2), los materiales de los mismos y de las paredes así como todos los parámetros de las antenas. En las Figuras 7 a 10 se pueden observar diferentes planos de potencia para las cuatro posiciones medidas del transmisor. Se ha escogido la altura de plano (1.25 m) donde se situó el transmisor durante el proceso de medida.

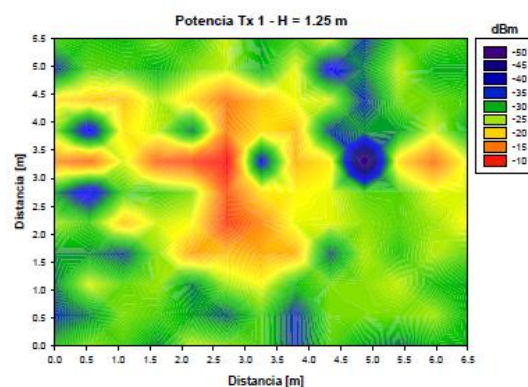


Fig. 7. Trazado de rayos posición 1

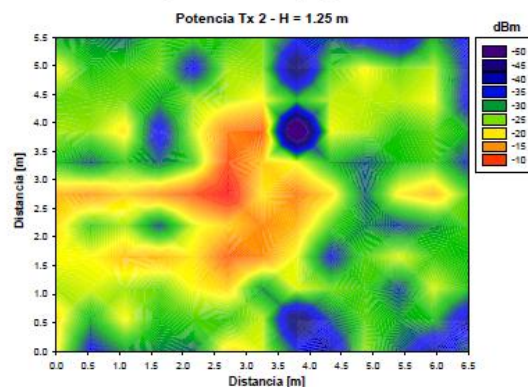


Fig. 8. Trazado de rayos posición 2

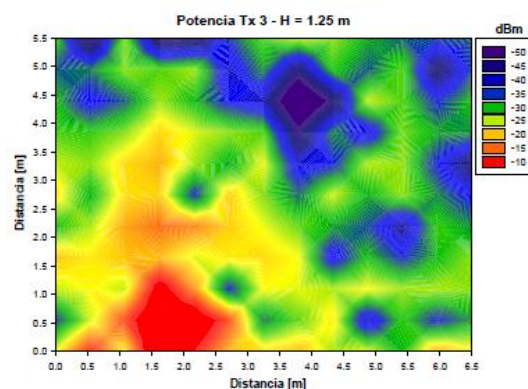


Fig. 9. Trazado de rayos posición 3

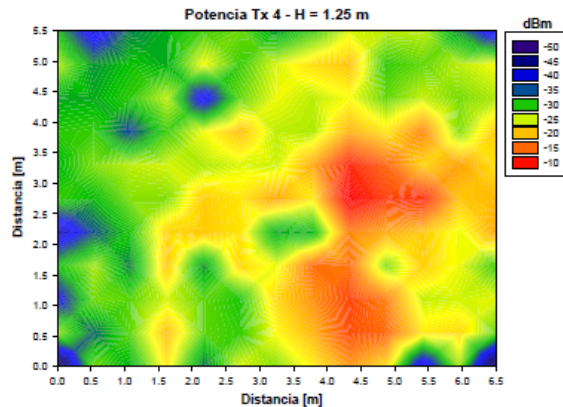


Fig. 10. Trazado de rayos posición 4

En las figuras anteriores se puede observar la evolución de la potencia recibida y la interacción con los diferentes elementos de la habitación y por lo tanto se infiere que esta potencia y por lo tanto la cobertura de los dispositivos no solo es función de la distancia entre transmisor y receptor, sino que depende tanto de la topología como morfología del escenario de trabajo.

III. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado la dependencia de la señal radioeléctrica con la posición y con la morfología del entorno interior para un dispositivo de monitorización de señales biomédicas. Dicha información condiciona el rango de trabajo de este tipo de dispositivos, lo cual ha de ser planificado previamente con el fin de garantizar su funcionamiento. Mediante el cálculo determinista basado en trazado de rayos es factible obtener una estimación adecuada de la zona prevista de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Yang Xiao and Yi Pan, "Emerging wireless LANs, wireless PANs and wireless MANs", published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2009.
- [2] <http://www.holtin.com>
- [3] Digital Mobile Radio Towards Future Generation System, COST-231 FINAL REPORT, Chapter 4, 4.7 Indoor Propagation Models.
- [4] Recomendación UIT-R P.1238-5.
- [5] S. Y. Seidel, T. S. Rappaport, "Site-specific propagation prediction for wireless in building personal communication system design", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol 43, pp. 879-891, Nov. 1994.
- [6] B. S. Lee, A. R. Nix, J.P. McGeehan, "Indoor Space-Time propagation modelling using a ray launching technique", *Antennas and Propagation*, vol 1, pp. 279-283, April 2001.

ANEXO II Hojas de especificaciones

Quick Fact Sheet

Agilent N9912A FieldFox RF Analyzer

The world's most integrated RF analyzer



7.4" (188 mm)

11.5" (292 mm)

Lightweight:
6.2 lbs (2.8 kg)
Including battery

Features:

1. Connector covers help keep dust out
2. Anti-glare 6.5 inch LCD display with LED backlight
3. Convenient side strap makes it easy to hold and carry
4. Task-driven keys are grouped to easily and naturally perform standard field measurements
5. Portrait design and large buttons for easy operation – even with gloves on
6. Dedicated marker keys for quick marker function access
7. Backlit keypad
8. Easily accessible battery compartment
9. LAN port for fast data transfer
10. SD flash card slot for additional data storage
11. USB ports for convenient data transfer

Key measurements:

- Cable and antenna test (distance to fault, return loss etc.)
- Cable loss measurement
- Insertion loss and transmission measurement
- Spectrum analyzer
- Interference analyzer, spectrogram, waterfall display, record and playback
- Channel power, adjacent channel power, and occupied bandwidth
- LTE, CDMA, GSM, TD-SCDMA, cdma2000, power suite measurements
- AM/FM tune and listen
- Power meter with USB power sensor
- Vector network analyzer with Smith chart display
- Vector voltmeter, Agilent/HP B508A cable trimming application

Side view



Agilent Technologies

Quick Fact Sheet

FieldFox key specifications

Function	Description
Cable and antenna analyzer	
Frequency	2 MHz to 6 GHz
Speed	Less than 1.5 ms per point, up to 1001 points
Directivity	> 42 dB
Dynamic range	72 dB
Spectrum analyzer	
Frequency	100 kHz to 6 GHz, usable to 5 kHz
Speed	750 ms (span: 20 MHz) RBW: 3 kHz, VBW: 3 kHz, 1 second full span (6 GHz)
DANL	-148 dBm
Phase noise	-88 dBc @ 10 kHz
TOI	-96 dBc, +18 dBm
Internal storage	Minimum 16 MB, up to 1000 traces
External storage	1 x mini SD slot and 2 x USB 2.0
Connectivity	2 x USB 2.0, 1 x mini USB, 1 x LAN
Display	Bright 6.5" color anti-glare LCD
Environmental	Meets MIL-PRF-28800F Class 2 specification
Temperature	Operating: -10 °C to +55 °C, Non-operating: -51 °C to +71 °C
Internal battery	Lithium ion, 4 hours operating time. Replace easily in the field without tools.
Dimensions	11.5" X 7.4" X 2.8" (292 mm X 188 mm X 72 mm)
Weight	Lightweight 6.2 lbs/2.8 kg including battery

The FieldFox base unit consists of a 4 GHz cable and antenna analyzer. The following accessories are included as standard:

- AC/DC adapter
- Quick Reference Guide
- Soft carrying case
- User manual
- Battery

FieldFox options

Model No.	Description
Option 104	4 GHz cable and antenna analyzer. This option is standard in the base price.
Option 106	6 GHz cable and antenna analyzer
Option 110	Transmission measurement (for insertion loss or gain measurement)
Option 111	QuickCal
Option 230	4 GHz spectrum analyzer (requires Option 104)
Option 231	6 GHz spectrum analyzer (requires Option 106)
Option 235	Pre-amplifier for spectrum analyzer (requires Option 230 or 231)
Option 236	Interference analyzer
Option 302	External USB power sensor support
Option 303	Network analyzer capability
Option 308	Vector voltmeter

Technical data, availability and pricing subject to change without notice.
 © Agilent Technologies, Inc. 2010. Printed in USA, July 8, 2010
 5690-3344EN

FieldFox Accessories (N9910X)

Model No.	Description
N9910X-800	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, Type-N(m)
N9910X-801	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, Type-N(f)
N9910X-802	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, 7/16 DIN(m)
N9910X-803	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, 7/16 DIN(f)
N9910X-810	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(m), 5 ft
N9910X-811	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(f), 5 ft
N9910X-812	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(m), 12 ft
N9910X-813	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-(f), 12 ft
N9910X-820	Antenna, directional, multiband, 800-2500 MHz, 10 dBi
N9910X-821	Antenna, telescopic whip, 70 MHz - 1 GHz
N9910X-843	Coaxial adapter, Type-N(m) to 7/16 DIN(f)
N9910X-845	Adapter kit - Type-N(f) to 7/16(f), Type-N(f) to 7/16(m), Type-N(f) to Type-N(f)
N9910X-860	Fixed attenuator, 40 dB, 100 W, DC-3 GHz, Type-N(m) to Type-N(f)
N9910X-861	Fixed attenuator, 40 dB, 50 W, DC-8.5 GHz, Type-N(m) to Type-N(f)
N9910X-870	Extra battery
N9910X-872	External battery charger
N9910X-873	AC/DC adapter
N9910X-874	External bias-tee, 2.5 MHz to 6 GHz, 1 W, 0.5 A
N9910X-875	DC car charger and adapter
N9910X-881	Hard transit case

Key differentiators:

- Integrated QuickCal calibrates without a calibration kit
- Immediate calibration with CalReady
- 50 percent faster than traditional handheld instruments
- Superior dynamic range (96 dB) and sensitivity (-148 dBm) in the spectrum analyzer mode; high dynamic range ideal for interference detection
- Easy-to-use, task driven user interface

Optimized for the following applications:

- Wireless service providers
- Aerospace and defense customers
- TV and broadcasting customers
- Contractor for the above

Recommended service options

Additional two years of Return-to-Agilent warranty
 Additional two years of Return-to-Agilent calibrations
 For more information go to www.agilent.com/fnd/removealldoubt



Agilent Technologies



Omni-directional 7dBi Indoor Antenna

OAN-1070

H/W Version: 1

LevelOne OAN-1070 7dBi Omni-directional Indoor Antenna is a desktop antenna that provides further distance connection up to 400~450 meters for 802.11b or 802.11g wireless network by improved signal strength and quality. With the unique design, the antenna can be easily placed in the limited desk space

in order to achieve the best wireless coverage. This antenna kit comes with antenna and the built-in 1.5m GDC-101 extension cable and has been tested for interoperating with LevelOne wireless product equipped with reverse SMA Male connector and detachable antennas.



RP SMA plug

Key Features

- For IEEE 802.11 b/g Wireless applications in 2.4GHz frequency range
- Provides stable signals and extends coverage
- Omni-directional operation
- Easy to located in limited space
- Easy to install
- GDC-101 1.5m cable for wireless device with SMA plug reverse connector

Works Well With or Related Products



WNC-0301
11g Wireless PCI Card



WAP-0003
108Mbps Wireless Access Point

Technical Specification

Frequency
24GHz~25GHz

Gain
7dBi

VSWR
2.0:1 Max

Polarization
Linear, Vertical

HPBW / V
23°

HPBW / H
360°

Impedance
50 Ohms

Connector
RP-SMA Plug

Cable
ULA 100; 1m

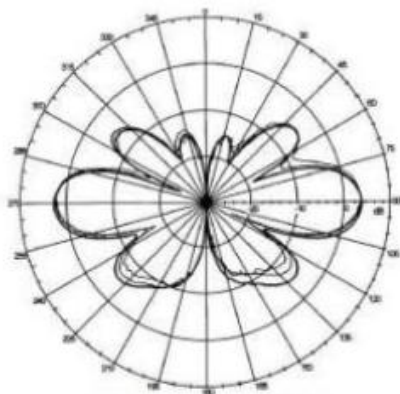
Temperature
-10°C~ +60°C

Humidity
92% @ 25°C

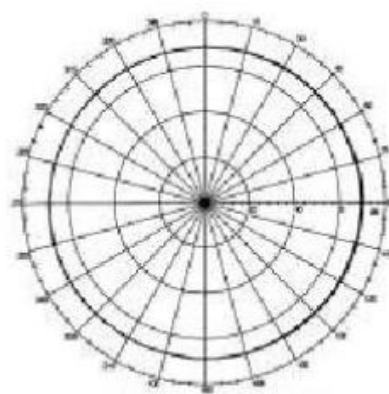
Weight
90 gw

Dimension
70mm x 115mm x 300mm

Radiation Pattern



V-Plane Co-polarization



H-Plane Co-polarization

Order Information

OAN-1070: Omni-directional 7dBi Indoor Antenna

Package Contents

OAN-1070
 Desktop Stand

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1. Esteroscopia con bluetooth y memoria	4
Figura 1.2. Monitor Holter conectado a un paciente	5
Figura 1.3. Esquema de monitorización de señales ECG	6
Figura 1.4. Beneficiario de la bomba de insulina	6
Figura 1.5. Glucometro digital con tecnología bluetooth.....	7
Figura 1.6. Sistema de comunicación entre paciente y hospital.....	8
Figura 2. 1. Ejemplo comunicación bluetooth.....	13
Tabla 2. 1. Potencia en bluetooth	14
Figura 2. 2. Enlace síncrono y asíncrono	21
Figura 2. 3. Estructura de un paquete	29
Figura 2. 4. Esquema piconet conexión maestro-esclavos.....	30
Figura 2. 5. Esquema Scatternet	30
Figura 2. 6. Protocolos bluetooth	31
Figura 2. 7. Espectro de frecuencias telecomunicaciones	32
Figura 2. 8. Módulo de radio de Ericsson Microelectronics	32
Figura 2. 9. Conexión maestro-esclavos.....	33
Figura 2. 10. Esquema técnica TDD.....	34
Figura 2. 11. Procedimiento inicio conexión Inquiry	35
Figura 2. 12. Formato de un paquete en L2CAP	38
Figura 2. 13. Intercambio información entre dispositivos, canales L2CAP	39
Figura 2. 14. Interconexión varios dispositivos mediante protocolo L2CAP	39
Figura 2. 15. Multiplexación de protocolos.....	40
Figura 2. 16. Comparación paquetes L2CAP y Banda base	40
Figura 2. 17. Fragmentación y reensamblaje de paquetes L2CAP	41
Figura 2. 18. Estructura de los servicio en un servidor SDP	42
Figura 2. 19. Funcionamiento de SDP	43
Figura 2. 20. Conexión simultánea mediante protocolo RFCOMM	44
Figura 2. 21. Apertura puertos series mediante RFCOMM	45
Figura 2. 22. Multiplexación de sesiones en RFCOMM	46
Figura 2. 23. Perfiles Bluetooth	51
Figura 2. 24. Algunas aplicaciones Bluetooth	63
Figura 2. 25. Reflexión Ley de Snell	67
Figura 2. 26. Método de las imágenes	68
Figura 2. 27. Método lanzado de rayos, Ray Launching	68
Tabla 2. 2. Modelos de trazado de rayos.....	69
Figura 2. 28. Balance de potencia entre antenas.....	71

Figura 2. 29. Factores de pérdida	73
Figura 3. 1. Dispositivo Holtin	78
Figura 3. 2. Base del dispositivo Holtin	79
Figura 3. 3. Antena receptora 2,4GHz	80
Figura 3. 4. Analizador de espectro	80
Figura 3. 5. Trazado de rayos en una sala	81
Figura 3. 6. Fotografía pasillo principal edificio Los Tejos	84
Figura 3. 7. Fotografías pasillo estrecho	85
Figura 3. 8. Fotografía Laboratorio de Radiocomunicaciones	86
Figura 3. 9. Fotografía Laboratorio de Radiocomunicaciones	86
Figura 3. 10. Fotografía despacho investigadores	87
Figura 3. 11. . Gráfico pasillo de Los Tejos	88
Tabla 3. 1. Potencia recibida en el pasillo principal del edificio Los Tejos	89
Tabla 3. 2. Comparación modelos con medida experimental	89
Tabla 3. 3. Datos de potencia recibida en el pasillo estrecho tomado como experimento	91
Tabla 3. 4. Comparación modelos con datos de medida en el pasillo parte centro	92
Tabla 3. 5. Comparación modelos con datos de medida en el pasillo parte centro	92
Figura 3. 12. Reconstrucción laboratorio en 3D	94
Figura 3. 13. Vista en planta del laboratorio	94
Tabla 3. 6. Datos de potencia recibida en el Laboratorio de Raiocomunicación	95
Tabla 3. 7. Comparación de los modelos de propagación con los datos de medida	95
Figura 3. 14. Datos de potencia recibidos en el despacho de investigadores	97
Tabla 3. 8. Datos de potencia recibidos en el despacho de investigadores	98
Tabla 3. 9. Comparación de los modelos con la medida tomada in situ	98
Figura 3. 15. Mapa de potencia posición 1	99
Figura 3. 16. Mapa de potencia posición 2	99
Figura 3. 17. Mapa de potencia posición 3	100
Figura 3. 18. Mapa de potencia posición 4.	100

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Jose María Hernando Rábanos, *Transmisión por radio*, Editorial Universitaria Ramon Areces, 2008.
- [2] Yang Xiao, Yi Pan, *Emerging Wireless LANs, Wireless PANs, And Wireless MANs*, Wiley IEEE press, 2009
- [3] "Propagation Prediction Models," COST 231 Final Rep., ch.4, pp. 17–21. 1996
- [4] IMPROVING TELEMONITORING OF HEART FAILURE PATIENTS WITH NFC TECHNOLOGY, by J. Morak, A. Kollmann, D. Hayn, P. Kastner, G. Humer, G. Schreier Austrian Research Centers GmbH - eHealth systems Austrian Research Centers GmbH – Information technology/Softwaresystems
- [5] R.S. Saunders. *Antennas and Propagation for Wireless Communication System*. Ed.Wiley, 1999
- [6] ANDELMAN, D, "5GHz WLAN Indoor Coverage Range: Truths and Misconceptions", (2004)
- [7] *Digital Mobile Radio Towards Future Generation System*, COST-231 FINAL REPORT, Chapter 4, 4.7 Indoor Propagation Models.
- [8] Nathan J. Muller, *Tecnología Bluetooth*, Primera edición en español 2002. Serie de Telecomunicaciones. McGraw-Hill
- [9] *Bluetooth Tutorial: Radio, Baseband, L2CAP and LMP Specifications*. Apurva Kumar. Research Staff Member. IBM India Research Lab.
- [10] *Reporte sobre tecnología Bluetooth*. Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. Iván Enrique Morales y Joaquín García Ramírez. 2003
- [11] *Tema 8.Redes personales inalámbricas*. Comunicaciones Móviles.Dpto Informática UCLM Albacete
- [12] J.M. Keenan and A.J. Motley, *Radio coverage in buildings*, British Telecom Techonology Journal, 8(1):19-24, Enero 1990.
- [13] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsx?cc=ES&lc=spa&nid=->

[14] <http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial/radio.asp>

[15] <http://holtin.com/index.html>

[16] http://download.level1.com/level1/datasheet/OAN-1070_SPEC_V1.0.pdf

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACK	Acuse de recibo
ACL	Enlace asíncrono sin conexión
API	Application Programming Interface
ARQ	Automatic Repeat reQuest
BD_ADDR	Dirección del dispositivo bluetooth
CDMA	Code Division Multiple Access
CID	Canal IDentificator
CVSD	Continuosly Variable Slope Delta
DAC	Device Access Code
DIAC	Código de acceso de pregunta dedicado
DLCI	Identificador de conexión de datos de enlace
DNP	perfil de acceso telefónico a redes
DSP	Digital signal processing
EMV	Europa master card
FDTD	Finite difference time domain
FEC	Forward correction error
FHP	Frecuency hop synchronization
FHS	Filesystem Hierarchy Standard
FP	Perfil de fax
FTP	File Transfer Protocol
GAP	Perfil de acceso generico
GIAC	Código de acceso de pregunta
GO	Óptica geométrica
GOEP	Perfil genérico de intercambio de objetos
HCI	Host Controller Interface
HTTP	Protocolo de transferencia de hipertexto
IBM	International Business Machines
ICC	Integrated circuit cards
IEC	Comisión electrtecnica internacional
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared data association
IrMC	Infrared for mobile communications
ISM	Industrial Scientific and Medical
ISO	Organización internacional de estandarización
KA	Clave unitaria
KAB	Clave de combinacion
KC	Clave de encriptacion
L2CAP	Logical link control and adaption protocolo
LAN	Local Area Network
LAP	Perfil de acceso a lan
LMP	Link manager protoco
MAC	Medium access control
MPEG	Grupo de expertos de imágenes en movimiento
MTU	Maximun Transfer Unit
OBEX	OBject EXchange

PAN	Personal area network
PCM	Pulse code modulation
PDA	Personal Digital Assistant
PDT	Teoría física de la difracción
PDU	Protocol Data Unit
PPP	Point to Point Protocol
QCIF	Formato intermedio común de 1/4 de pantalla
RF	Radio bluetooth
RFCOMM	Radio Frequency COMMunication
RTCON	Real Time CONnection
RTGC	Red telefonica general de conmutacion
RTP	Protocolo de transferencia en tiempo real
SCO	Enlace sincrónico orientado a conexión
SDP	Service discovery protocol
SIG	Sistema de información geográfica
SPP	Perfil de puerto serie
TCP IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TCS	Telephony Control protocol Specification
TDD	Duplexación por división en tiempo
TDMA	Time division multiple access
UDP	User Datagram Protocol
UDT	Teoría uniforme de la difracción
WAE	Wireless Application Environment
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
WML	Wireless markup language
WPAN	Wireless Personal Area Network
XML	Extensible markup language